

Čo sa zmenilo na Slnku od roku 1959?



***RNDr. Vojtech Rušin, DrSc.,
Astronomický ústav SAV,
059 60 Tatranská Lomnica***

Stavba prednášky

- **Slnko – všeobecná charakteristika**
- **Prečo nás Slnko zaujíma**
- **Čo sme sa dozvedeli za 55 rokov o Slnku**
- **Je niečo nové pod Slnkom?**
- **Záver**

A scenic background image of a sunset over a body of water, with several palm trees in the foreground. The sun is a bright orange circle on the horizon, and its light reflects on the water. The sky is a mix of orange and yellow. The palm trees are dark silhouettes against the bright sky.

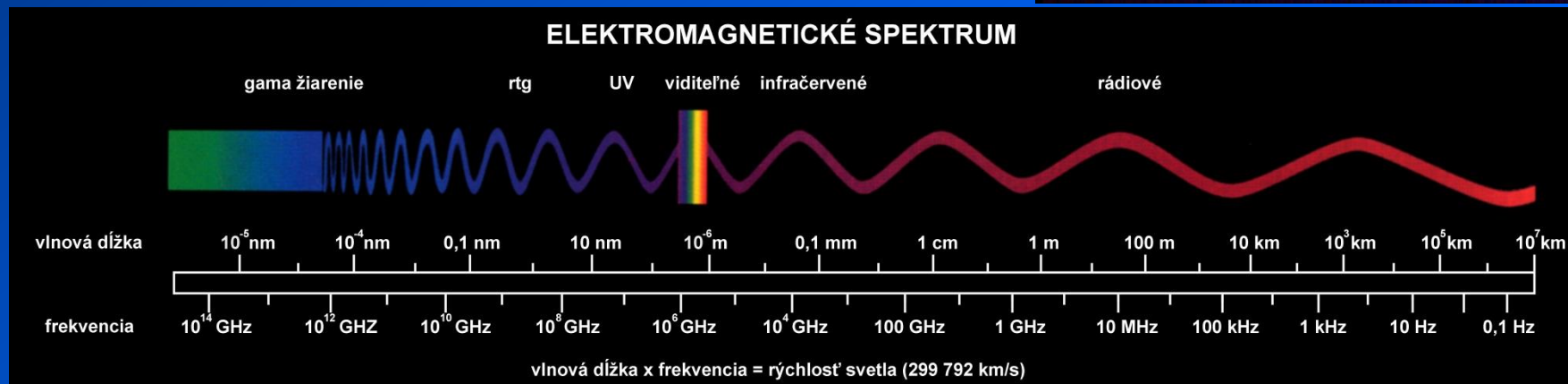
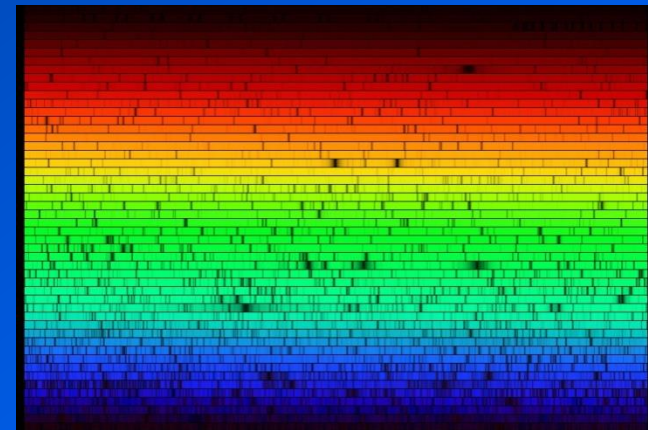
Slnko je naša najbližšia hviezda

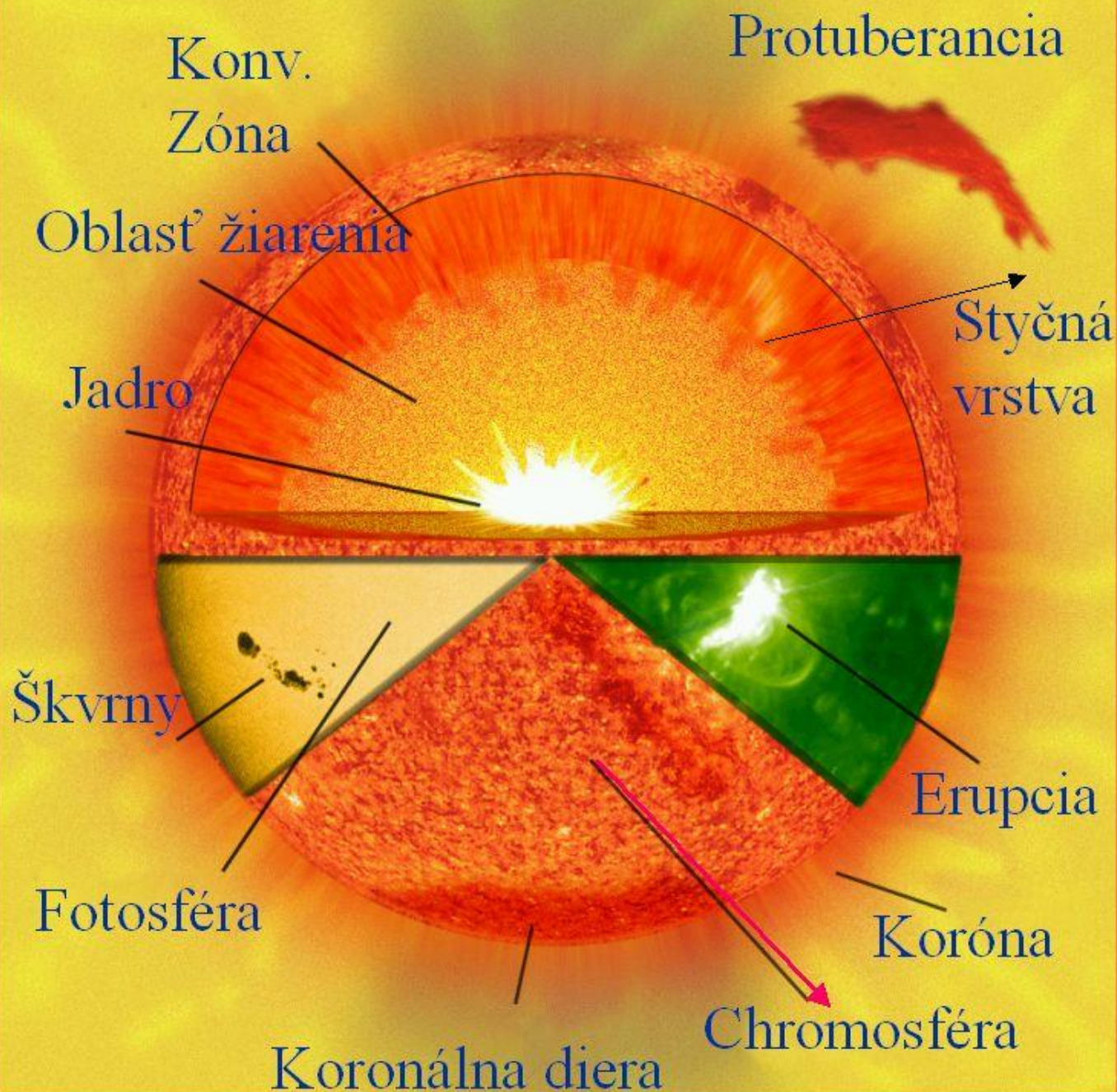
Slnko je centrálnne teleso Slnčnej sústavy

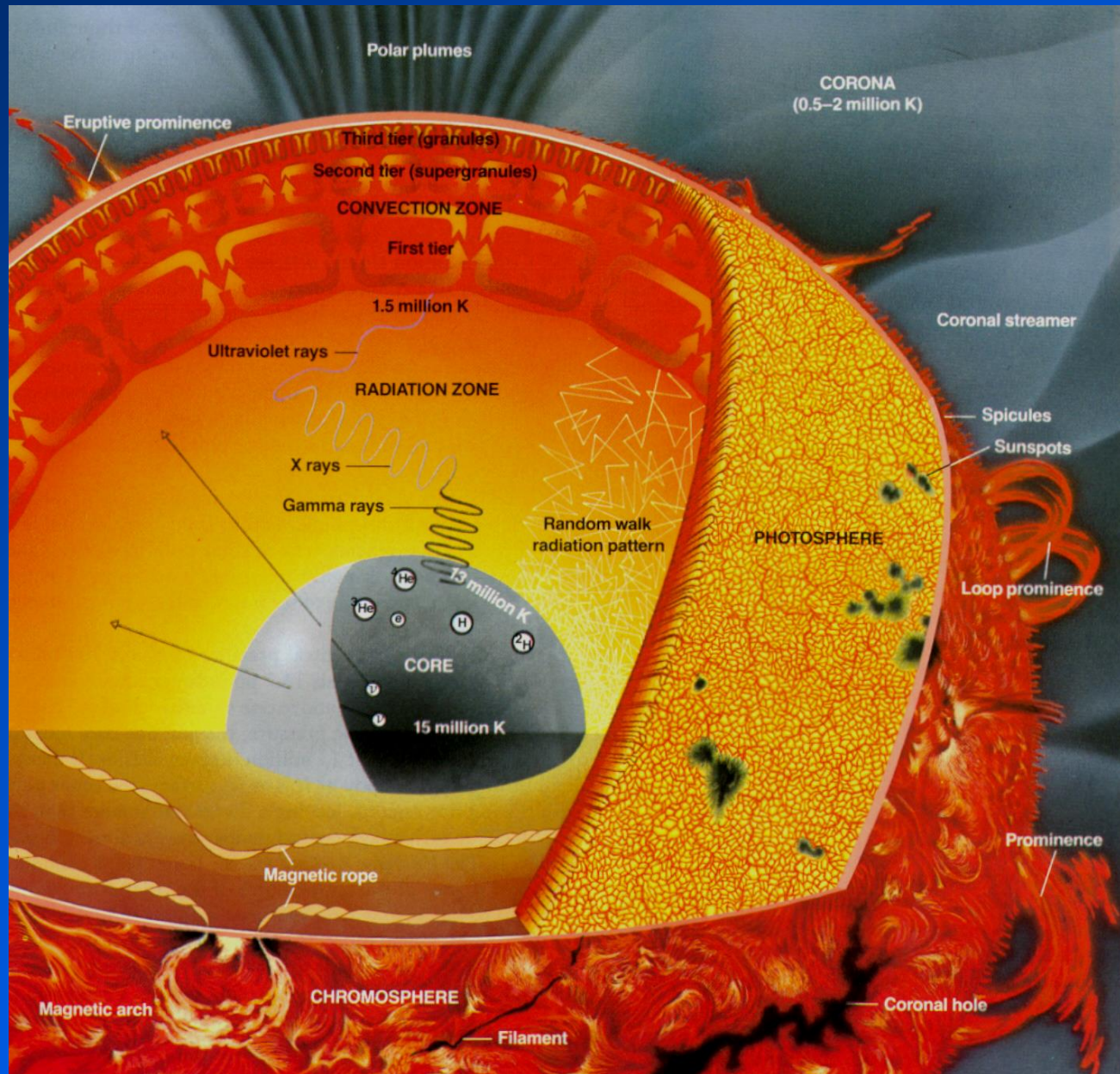
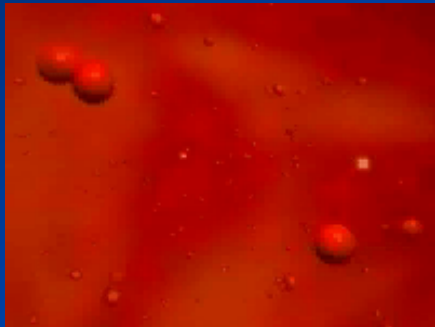
Slnko je zdroj svetla, tepla a energie na Zemi

Ako skúmame Slnko?

- ***Pomocou žiarenia v celej škále elektromagnetického spektra***
- ***Pomocou zvukových vln***
- ***Pomocou neutrín***

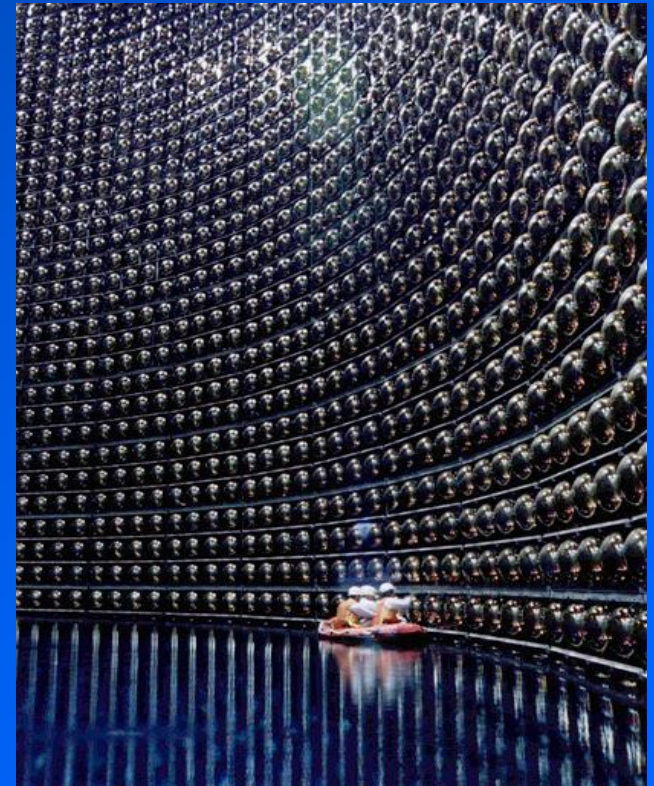
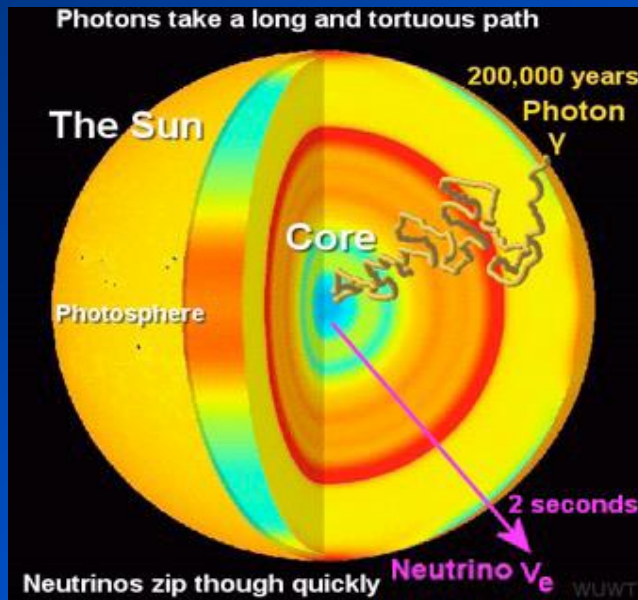






Slnčné neutrína

- $2 \times 10^{38}/s$ vzniká v jadre Slnka pri pp reakcii;
- Šíria sa priamo, teda cca za 2 s prejdú cez Slnko; žiarenie tisícky rokov
- Prvé záznamy – 1965, deficit; problém neutrín; je model Slnka zlý?
- Nižšia ako teplota ako 15 mil. K? Nie, oscilácia neutrín



Atmosféra Slnka

- Fotosféra
- Chromosféra
- Tranzitná oblasť (objav zo SOHO)
- Koróna

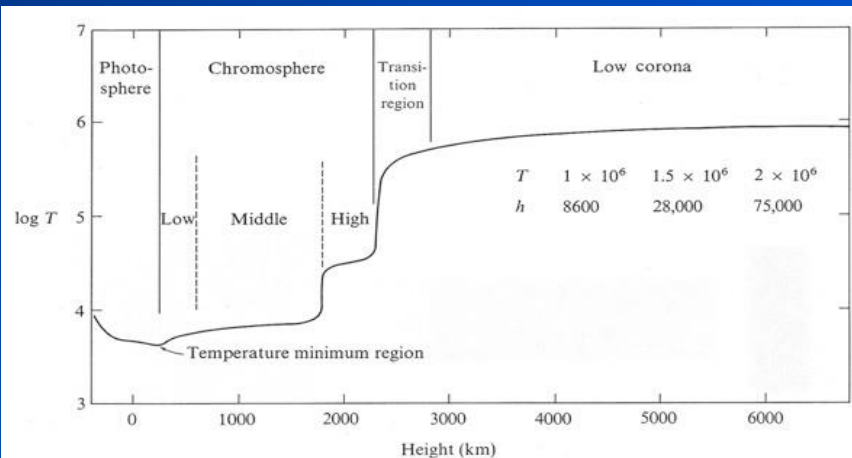
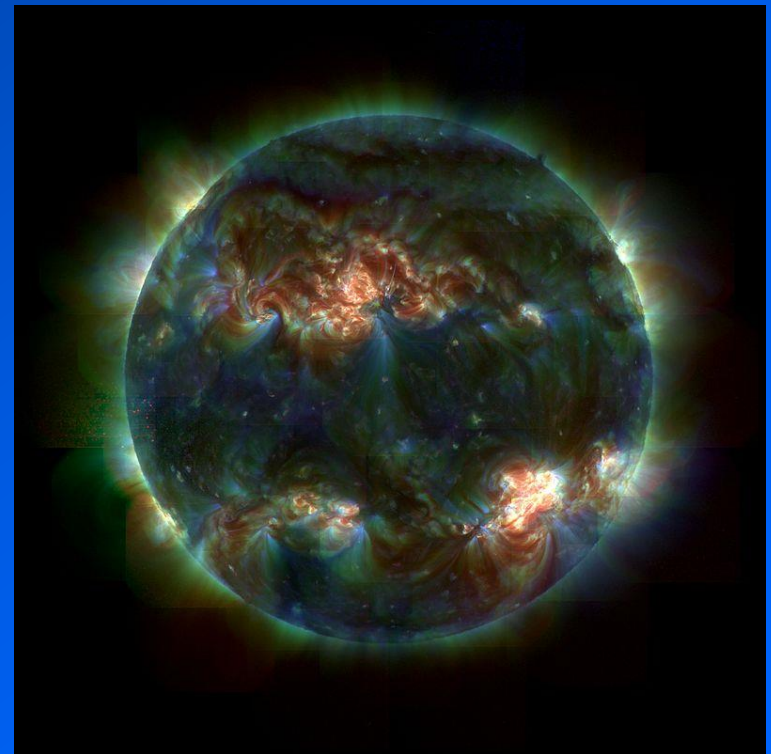


FIGURE 7-31
Temperature as a function of height in the solar atmosphere. The zero-point of the height-scale in this plot refers to unit *tangential* optical depth at the limb (radial optical depth $\tau_{5000} \approx 3.7 \times 10^{-3}$), and lies at approximately +340 km on the scale of Figure 7-32 and Table 7-1. From (20) by permission.

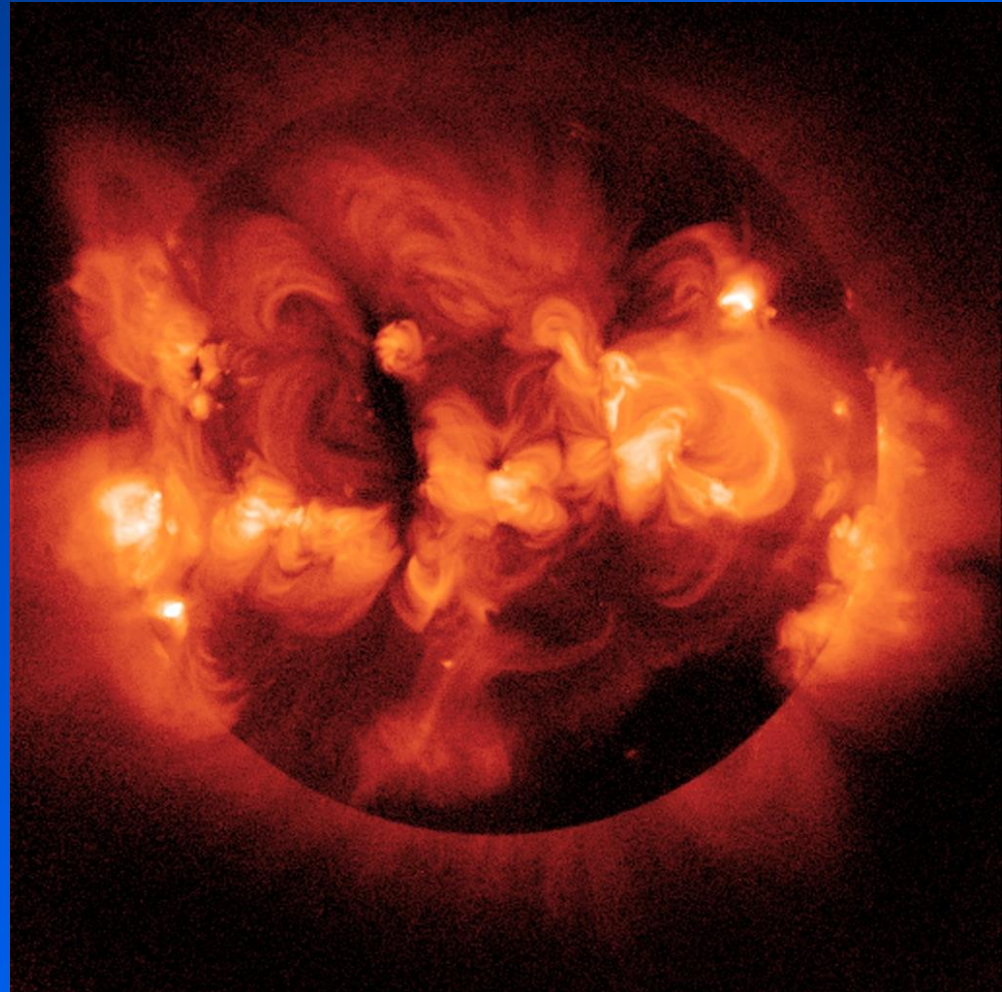
Slnko z vesmíru

- Výskum Slnka po roku 1960 (1957 – začiatok kozmickej éry)
- RTG, EUV, biela koróna, viditeľná oblasť žiarenia, magnetické polia a pod.
- OSO (1962 - 1978), Yohkoh (1991), SOHO (1995), STEREO (2006 štart), SDO (2010), TRACE (1998-2010), Hinode (2006), atď.

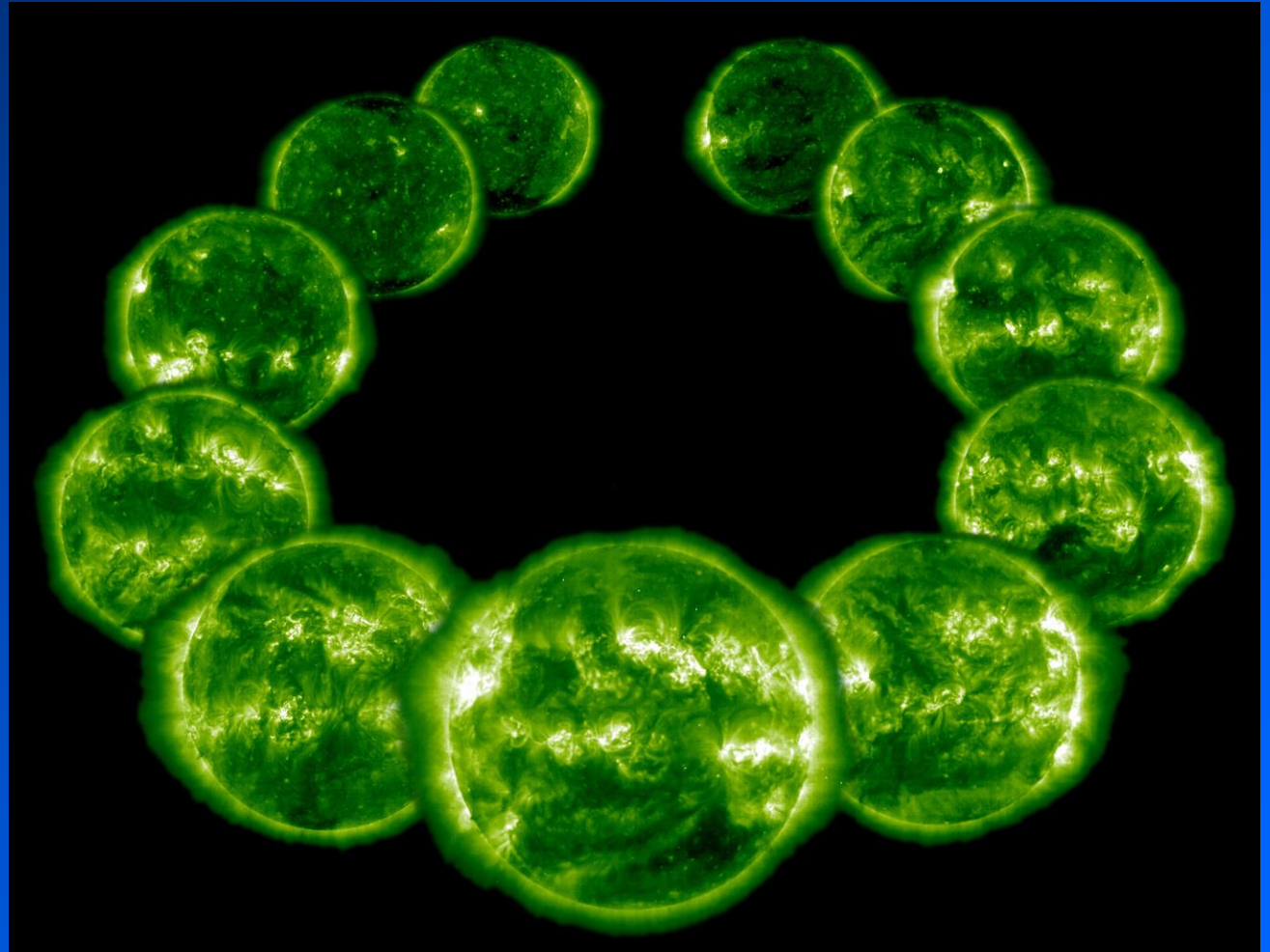


RTG Slnko z Yohkoh

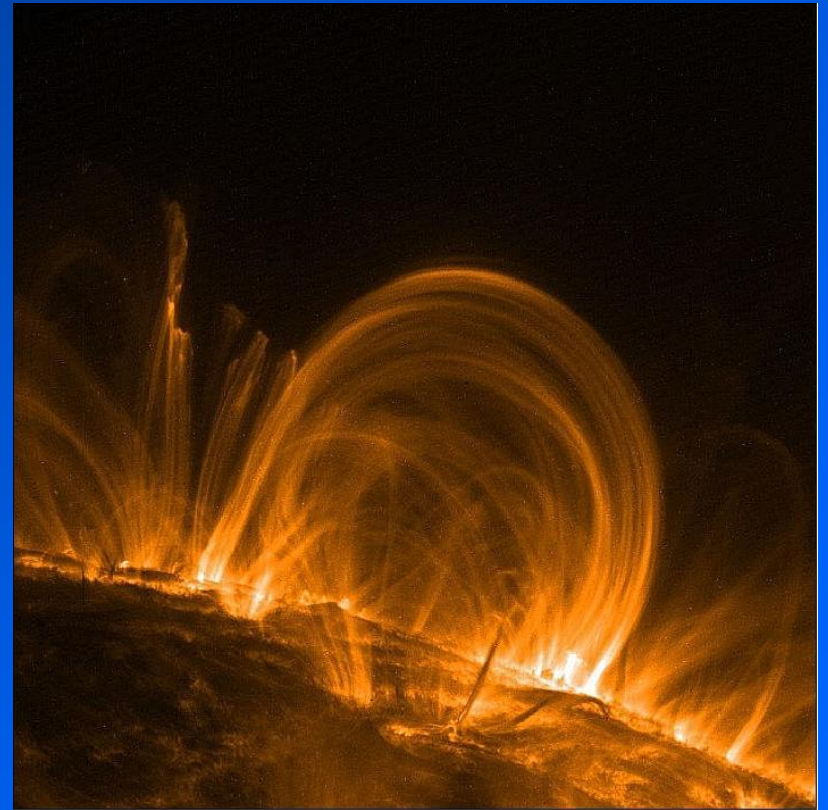
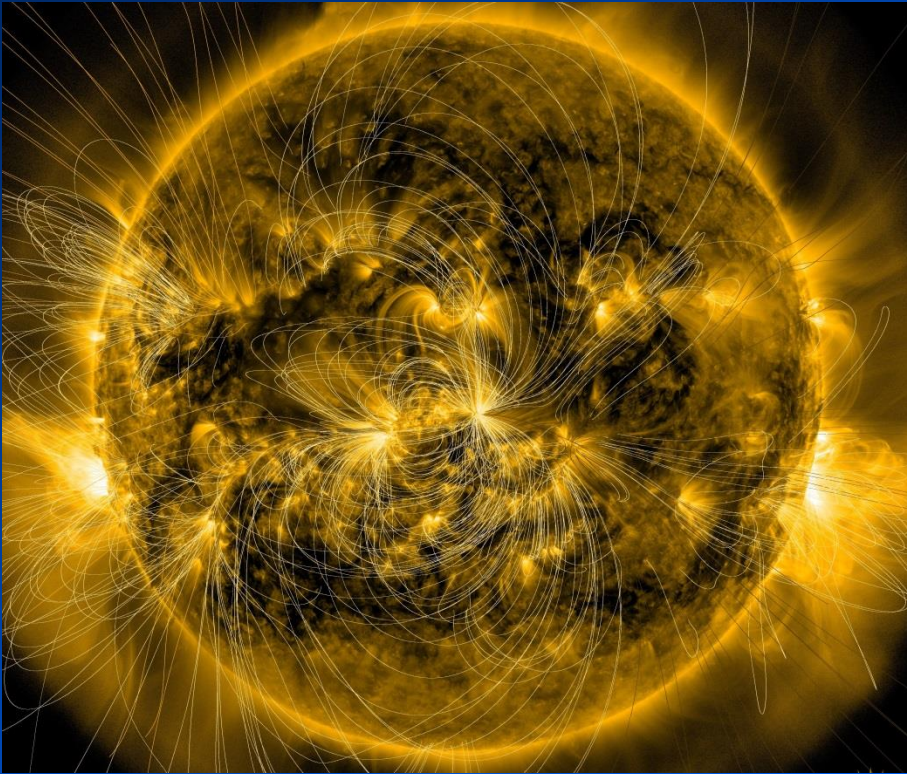
- Objav koronálnych dier



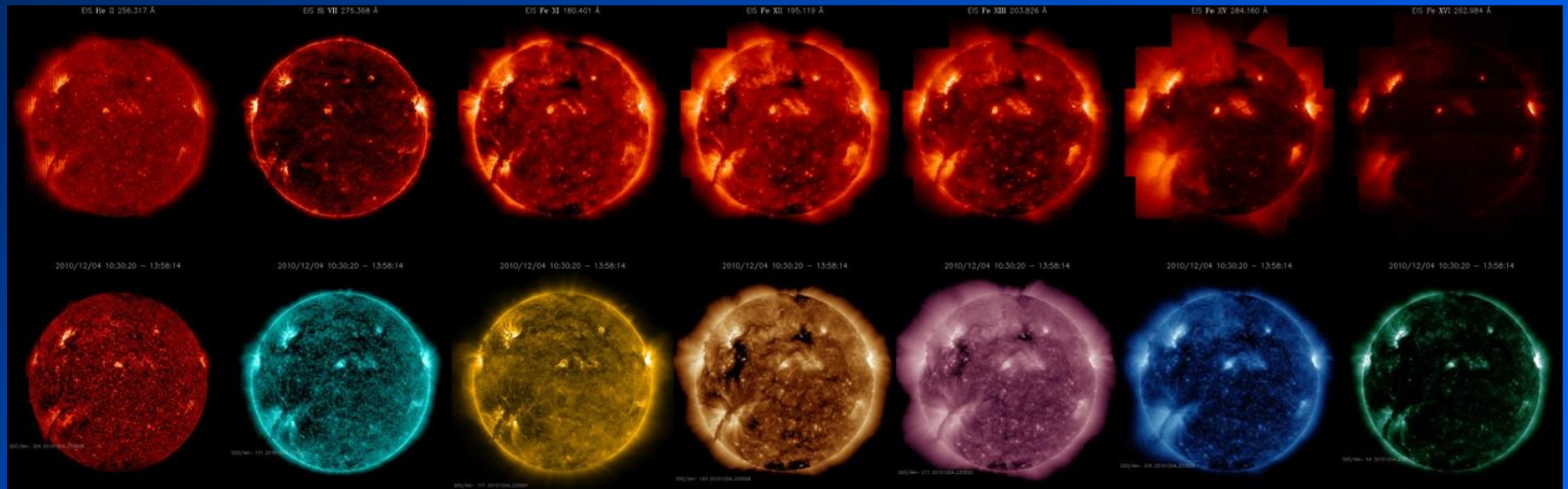
EUV SInko (19,5 nm)

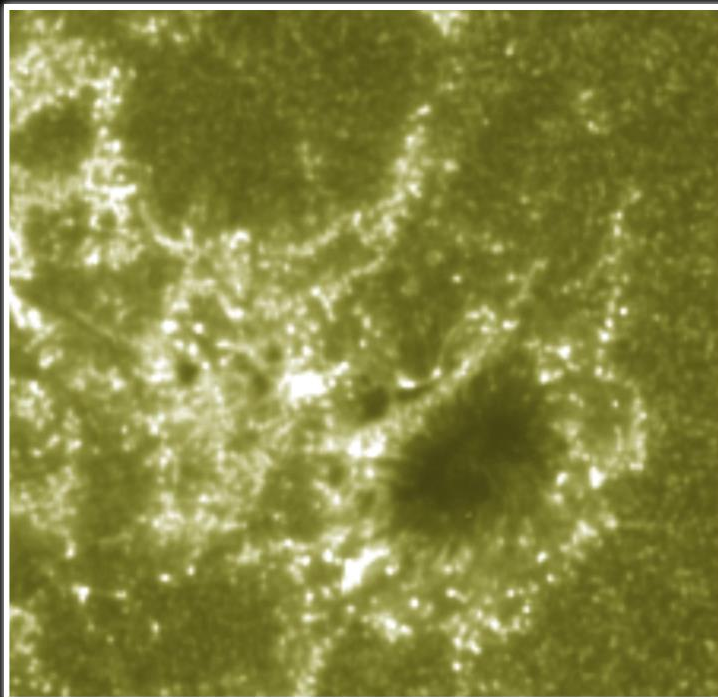


- Vľavo – Slnko z SOD, slučky z TRACE

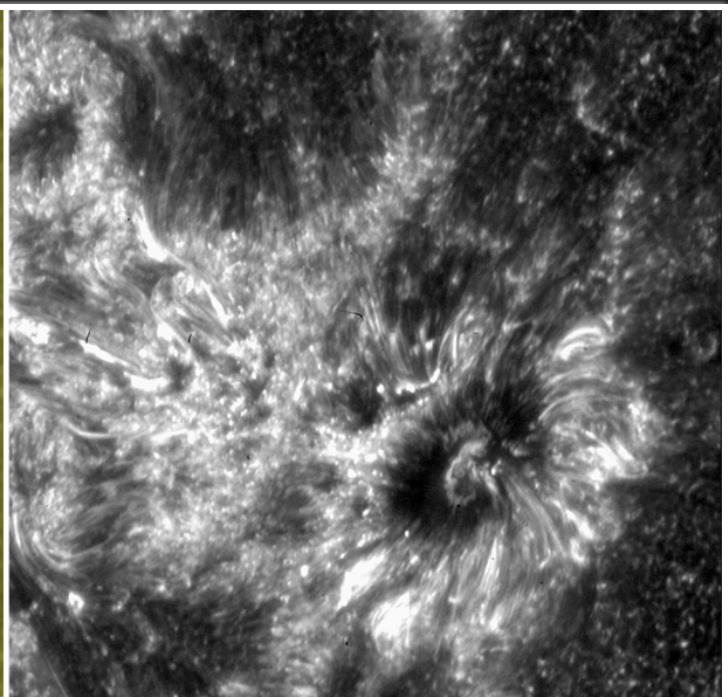


Hinode a SDO (04/12/10)



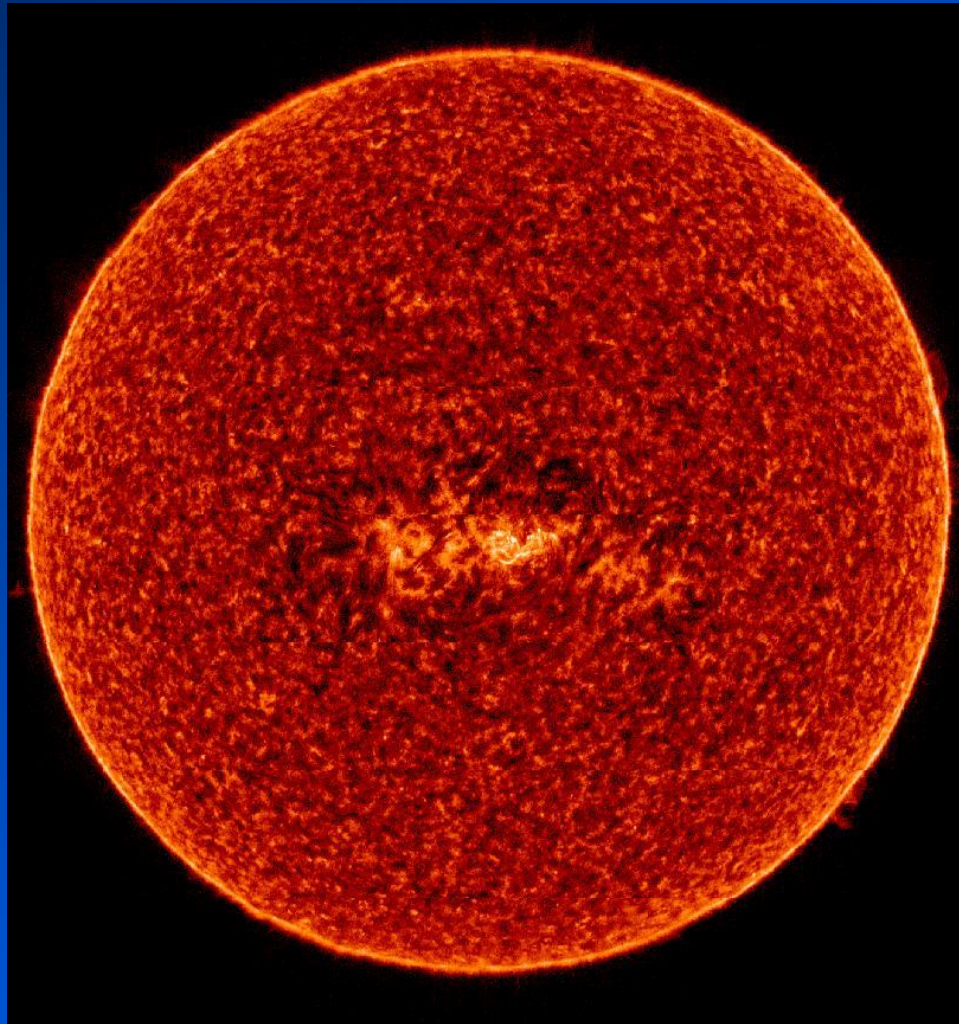


SDO AIA 1600

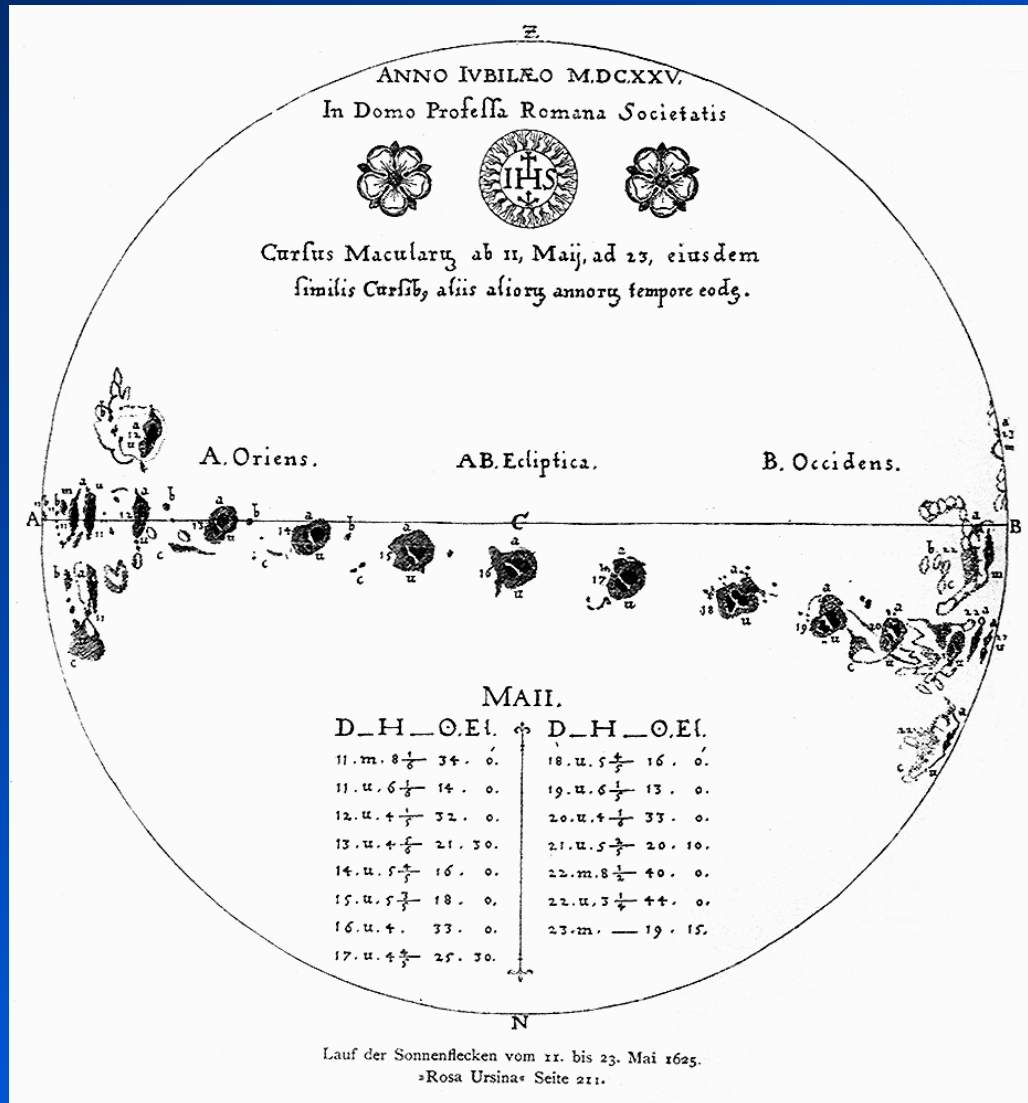


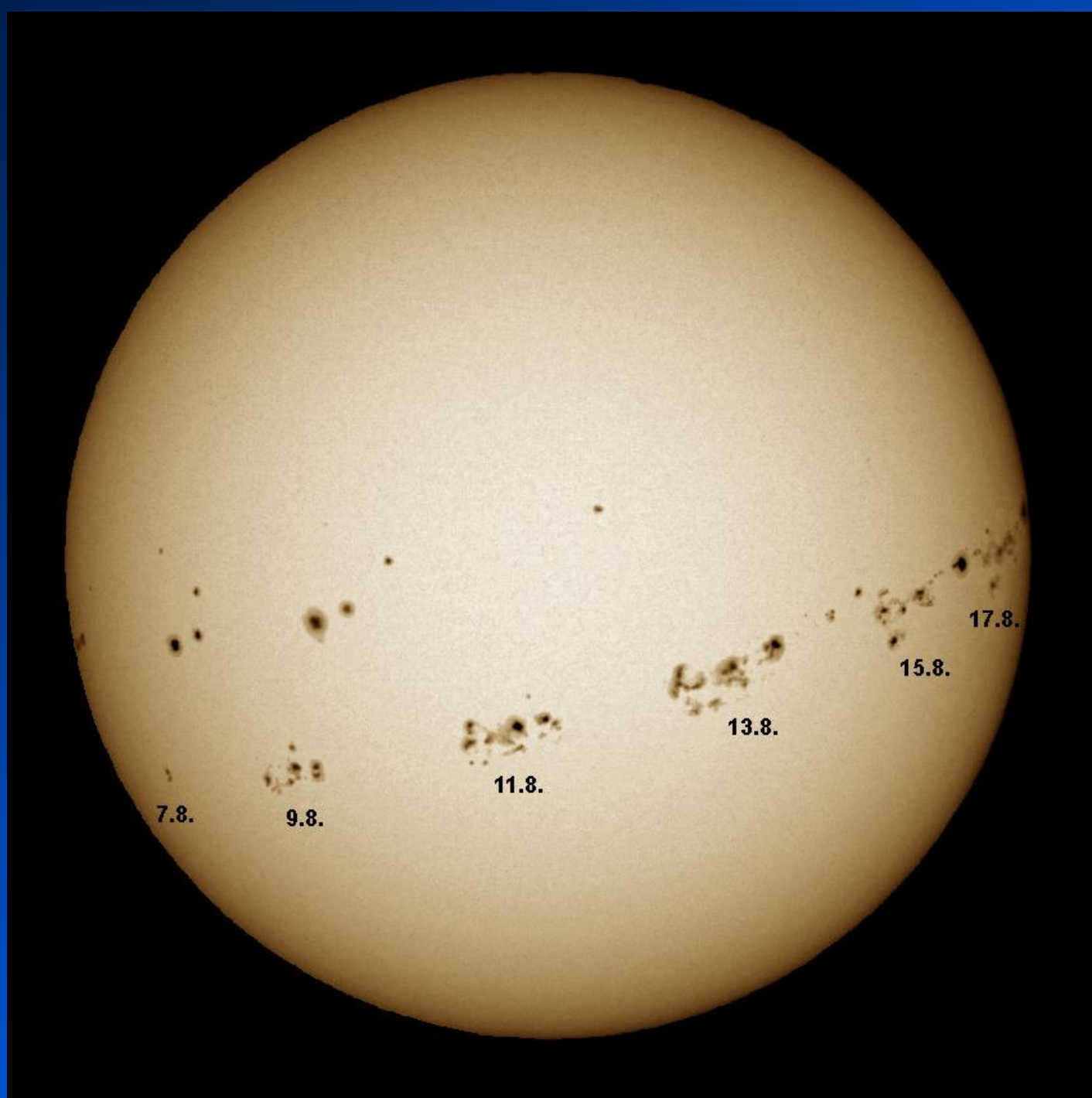
IRIS Si IV

Slnko v prechodovej oblasti

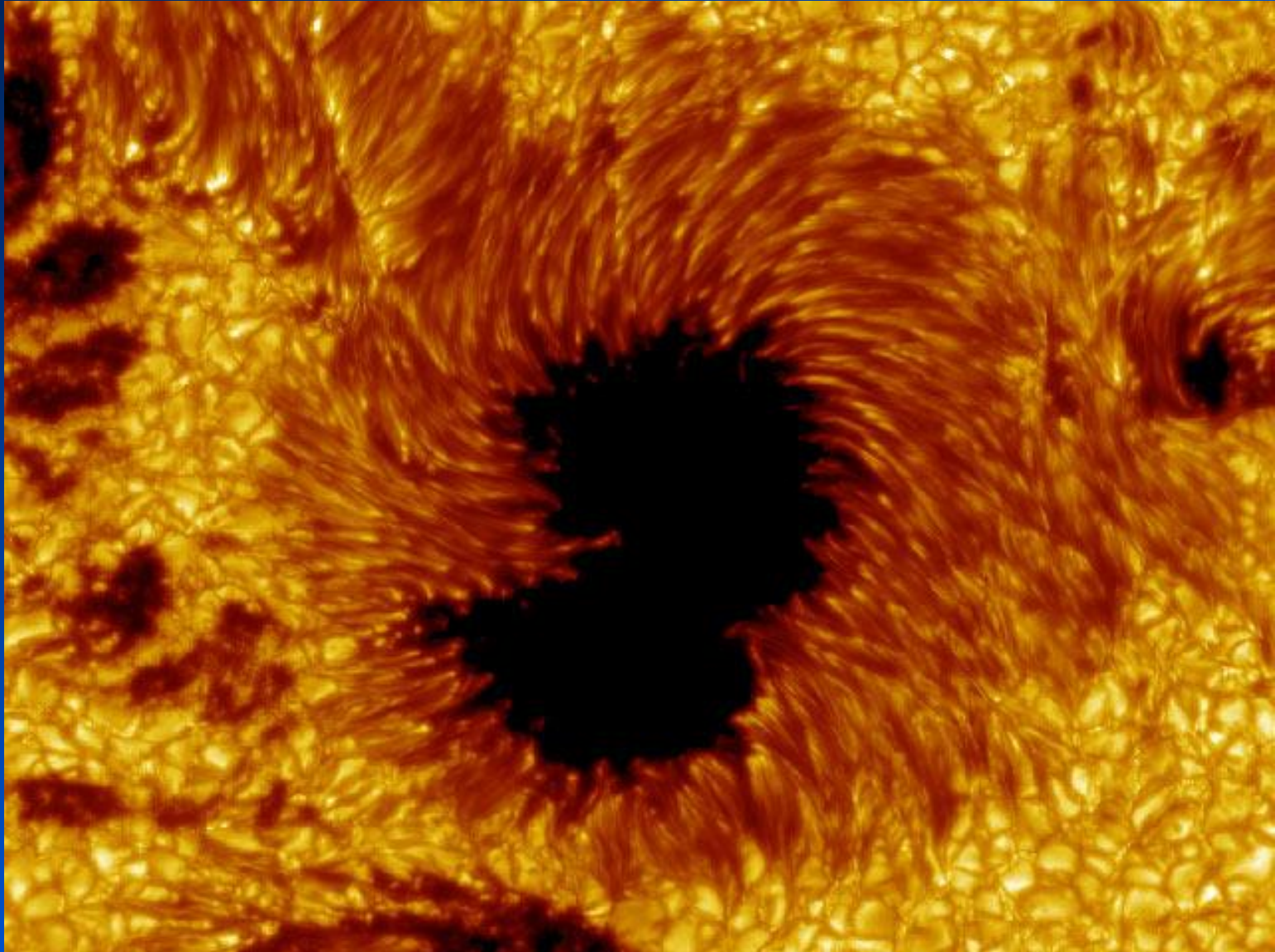


Slnéčné škvrny — Známe? Neznáme?

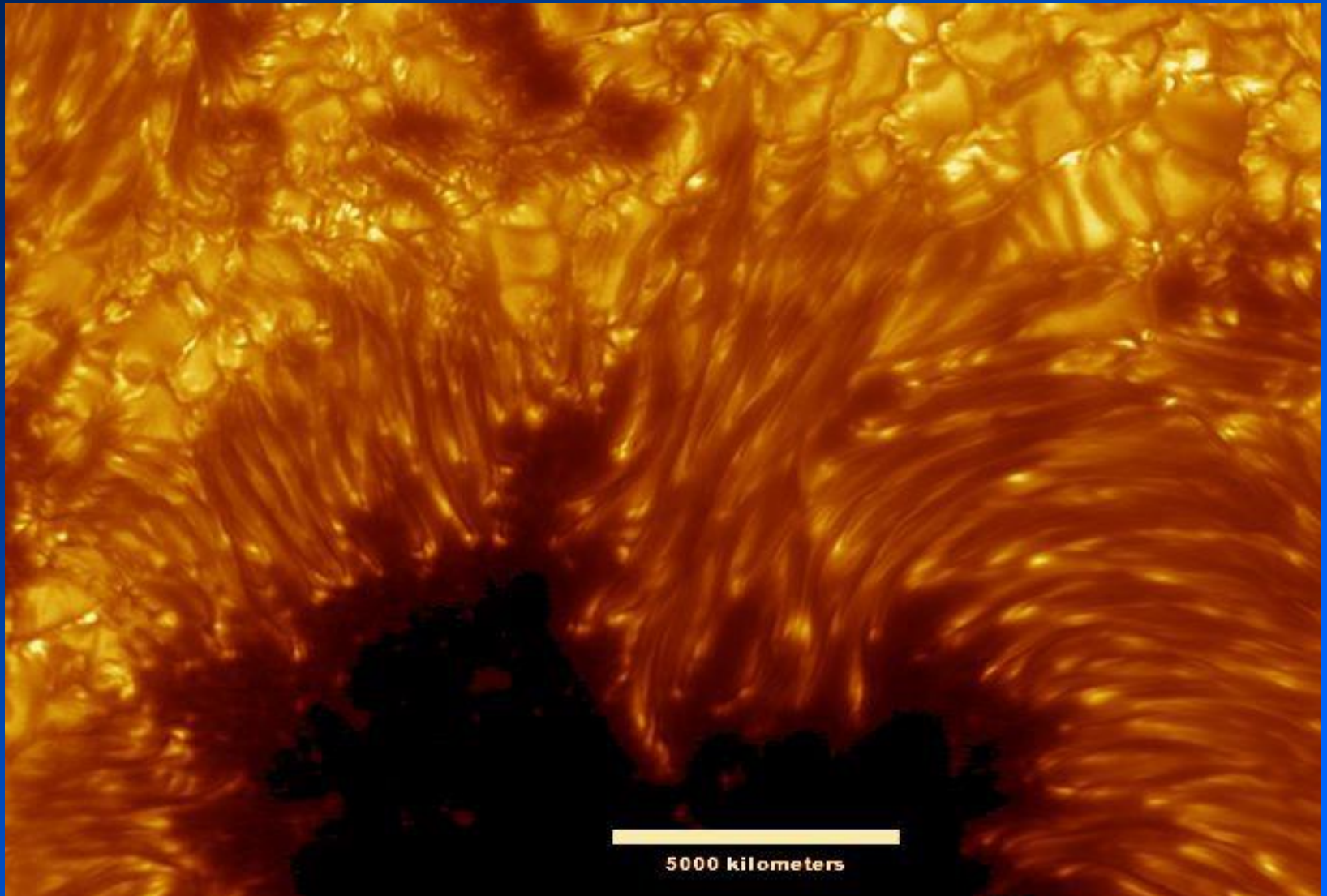


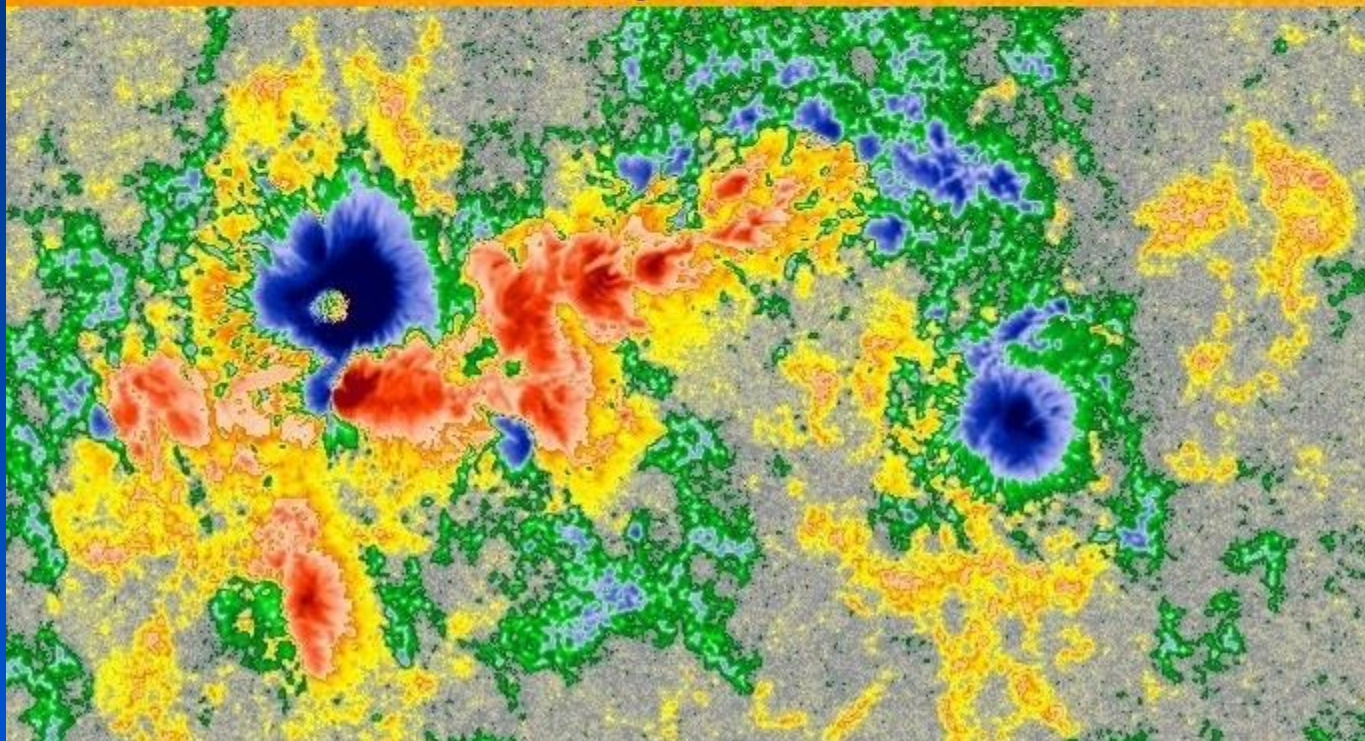
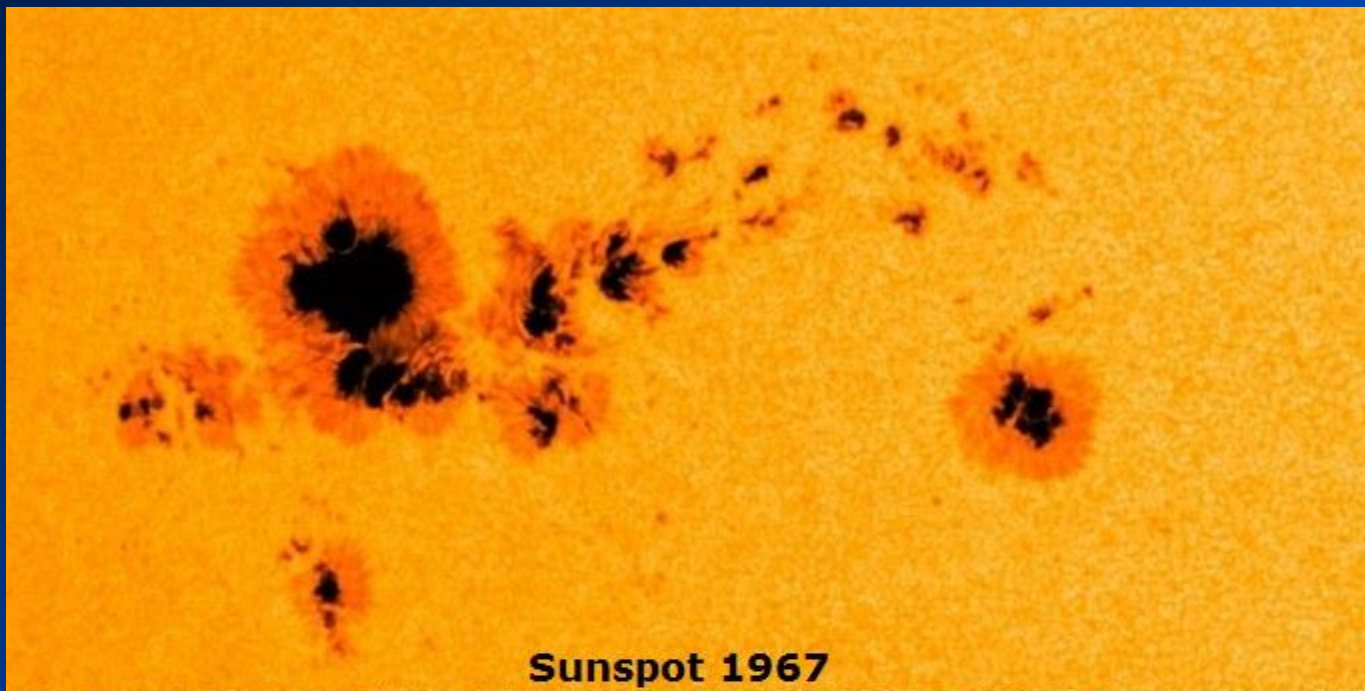


Detail slnečnej škvrny

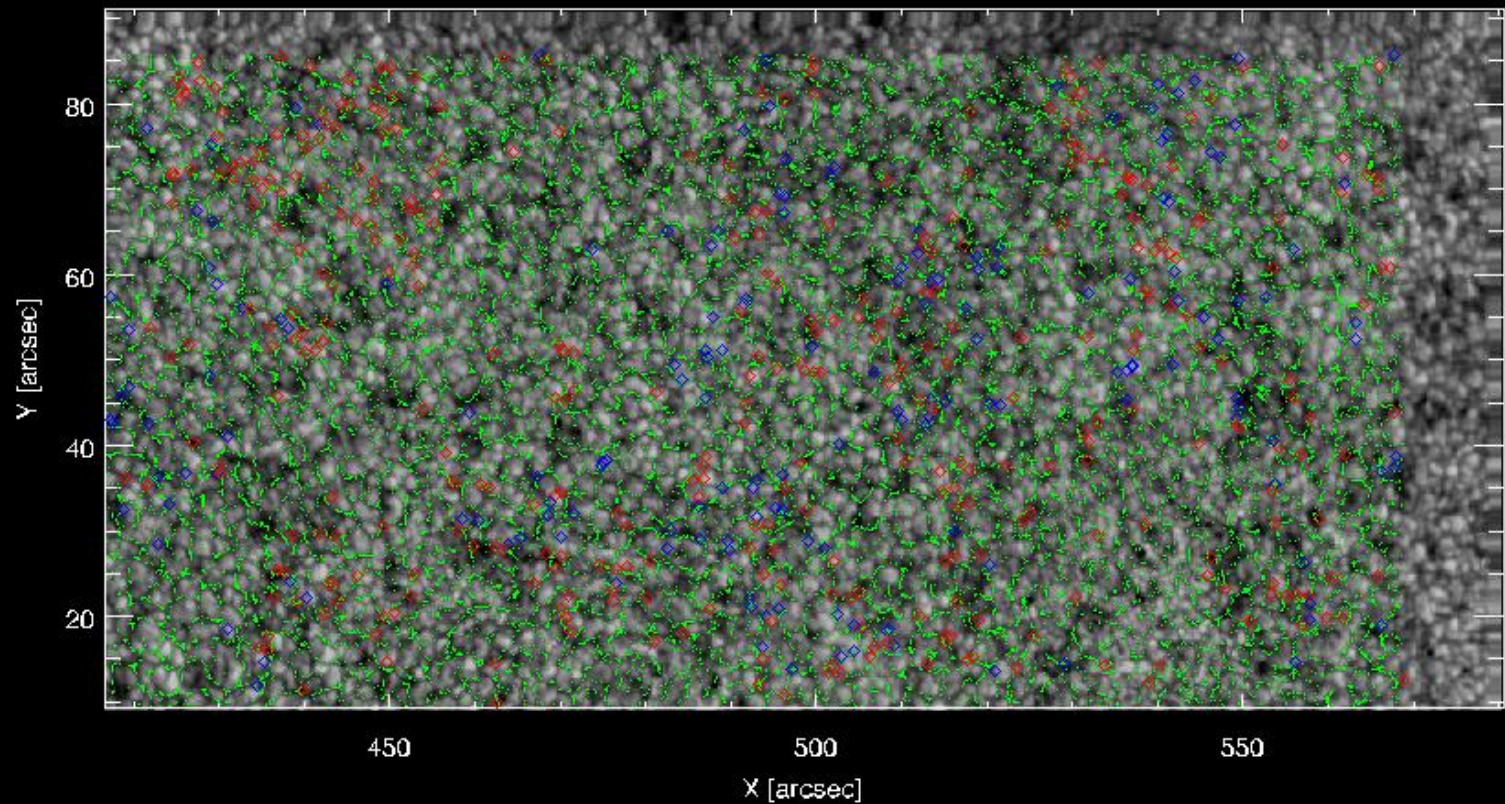


Detail slnečnej škvrny

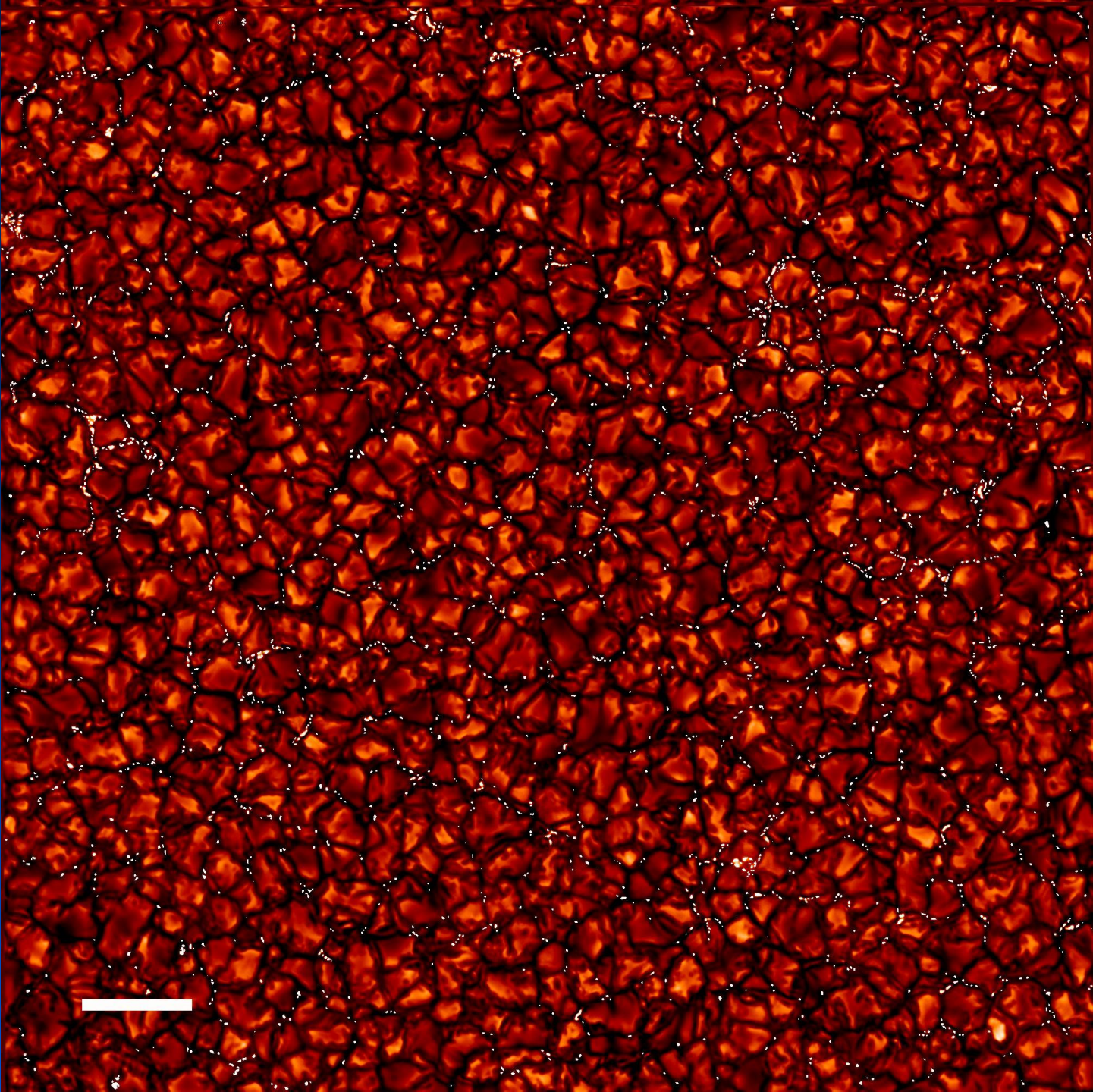




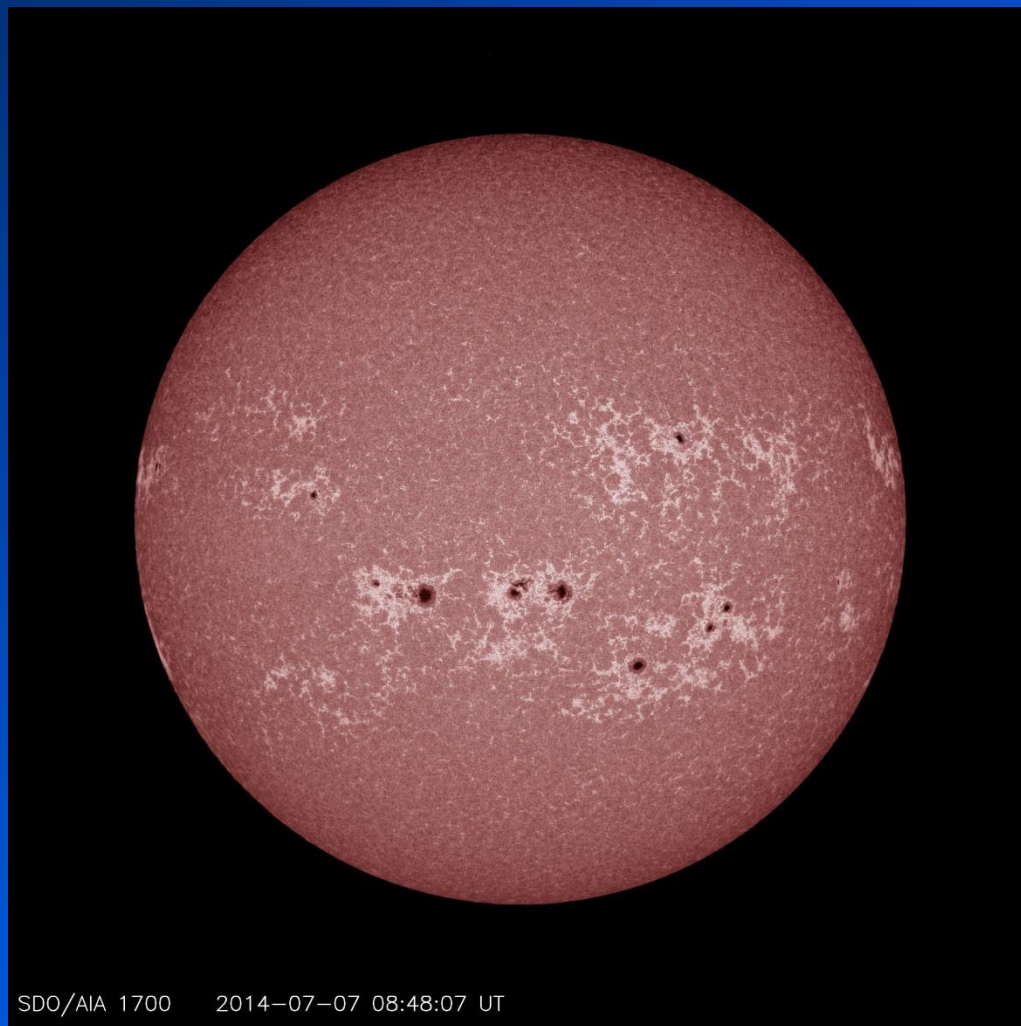
Magnetické elementy v medzigranulárnom priestore



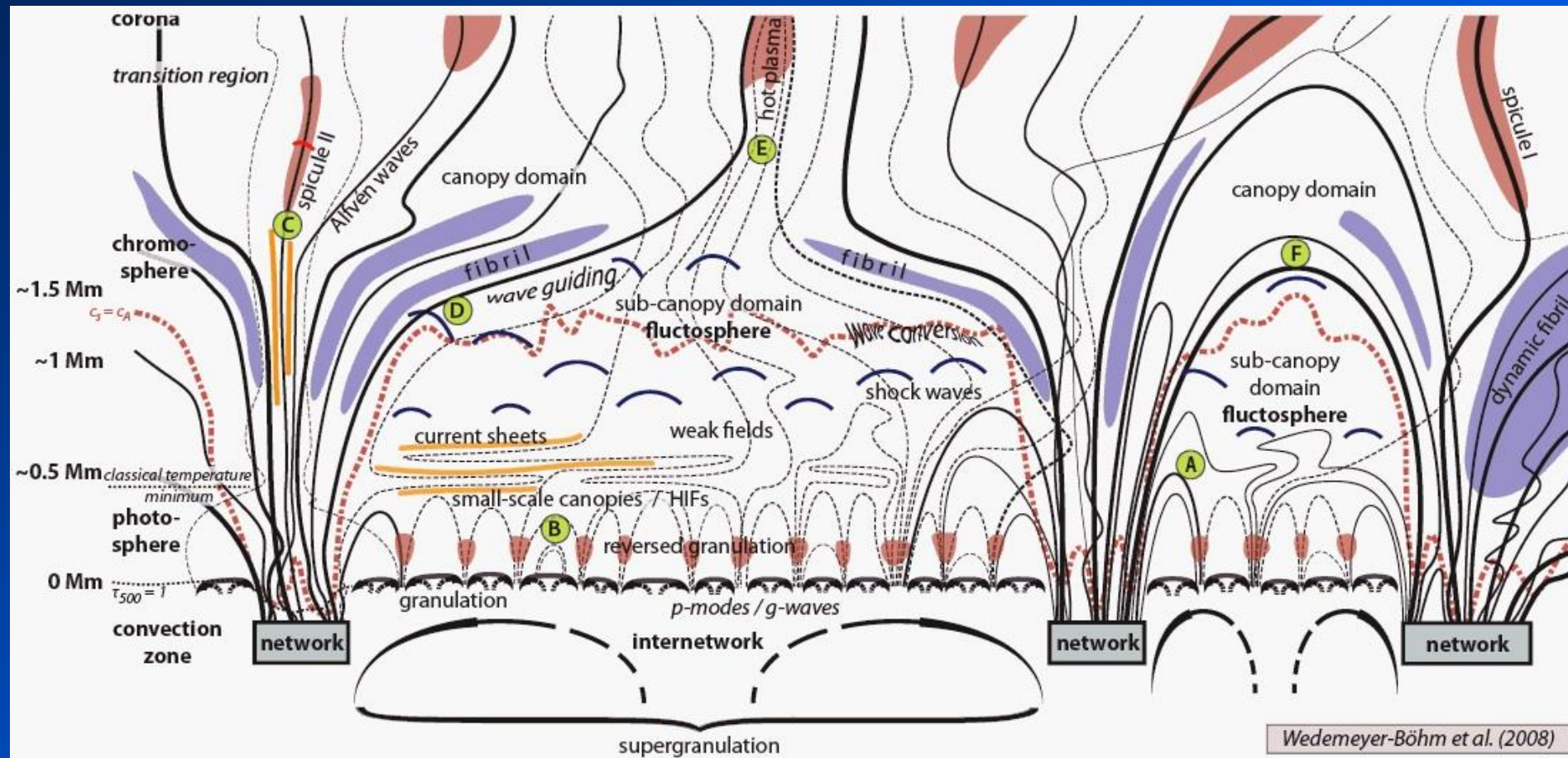
Červená - kladná polarita, modrá - záporná polarita.



Flokulové polia

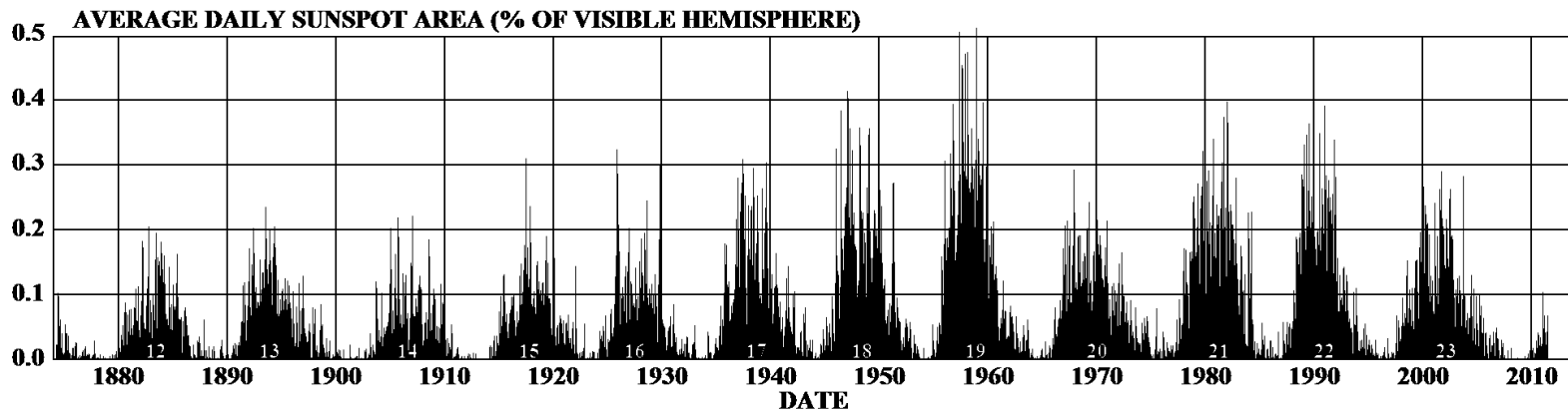
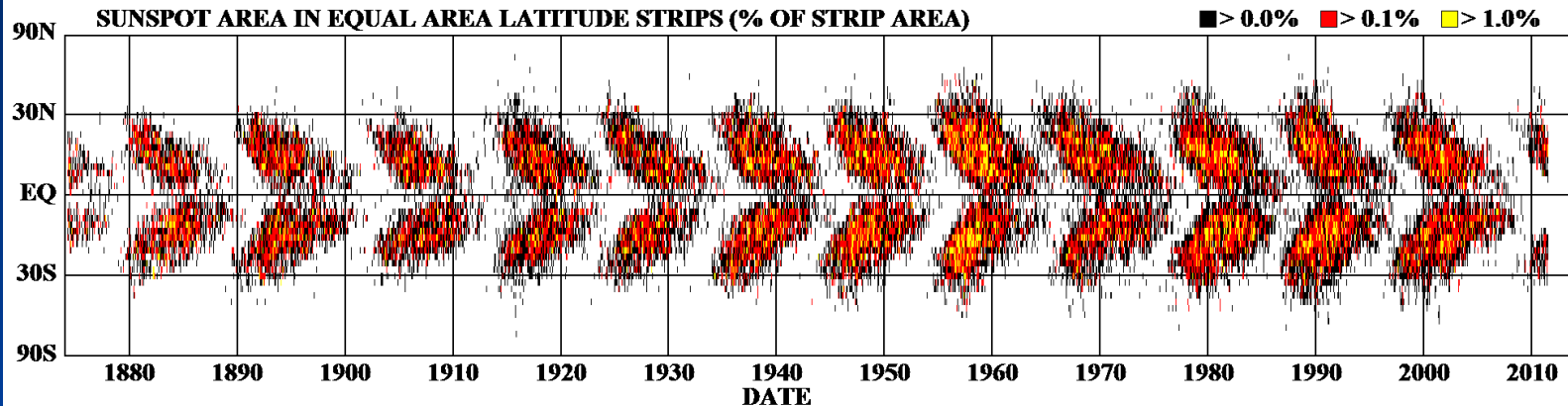


Schematické znázornenie dynamiky nad povrchom Slnka

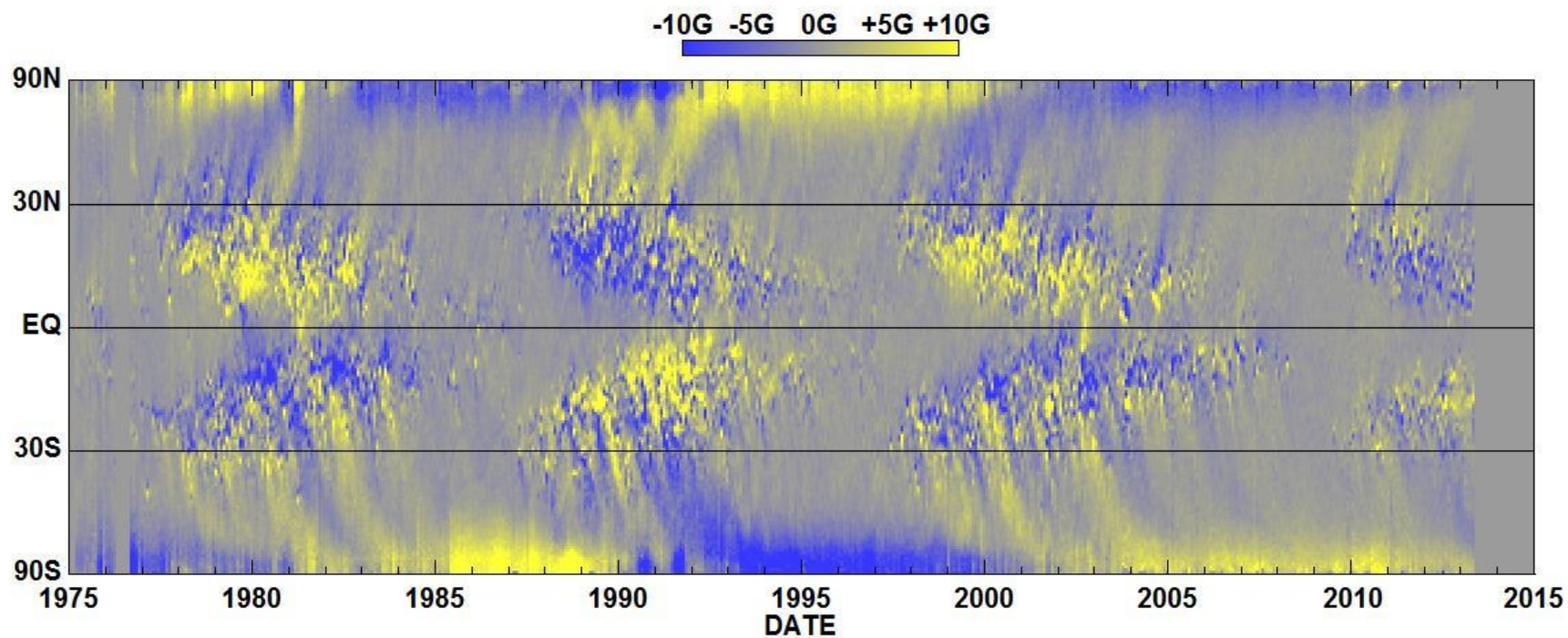


Časovo šířkový vývoj škvárn

DAILY SUNSPOT AREA AVERAGED OVER INDIVIDUAL SOLAR ROTATIONS

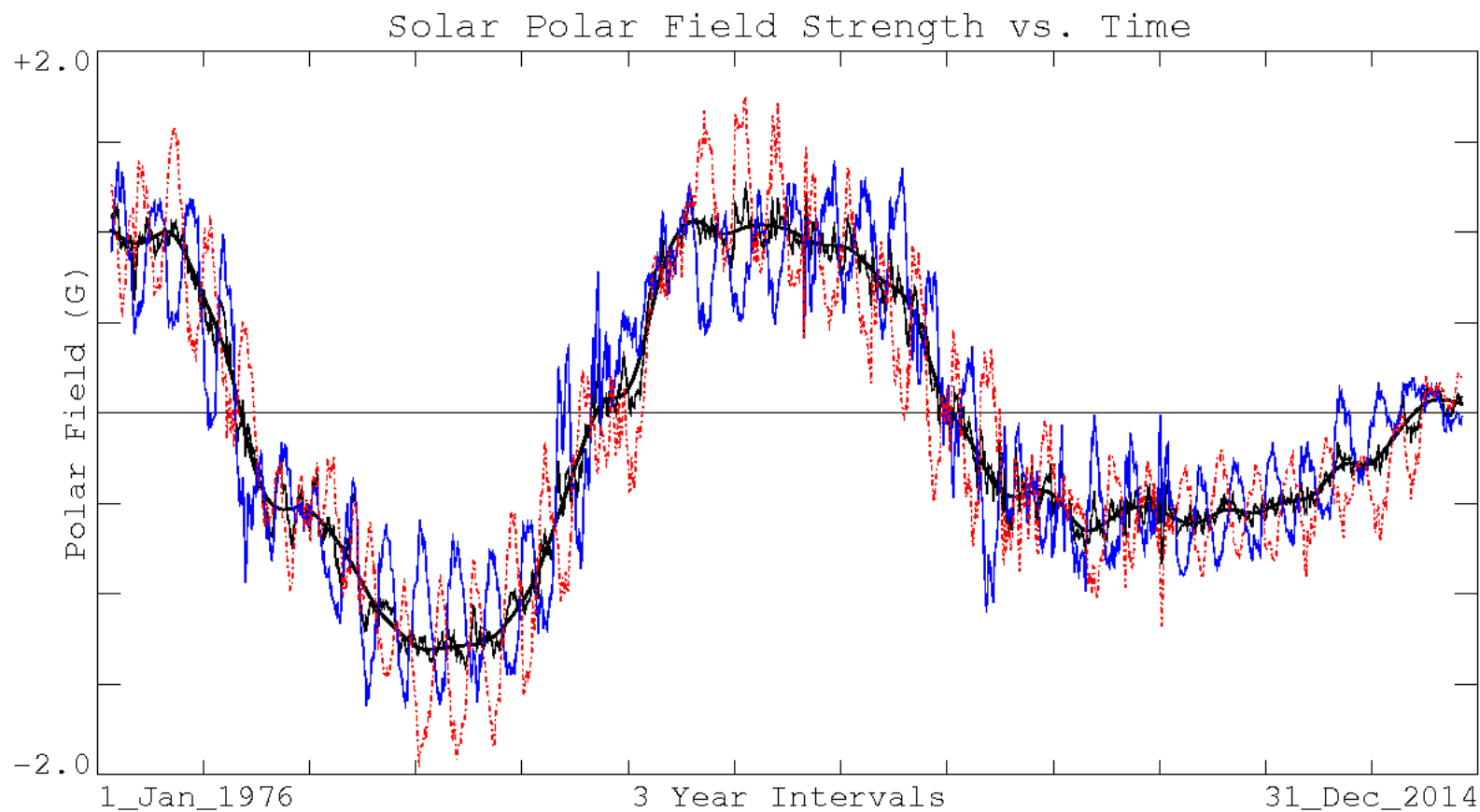


Časovo šírkový vývoj *magnetického poľa Slnka*

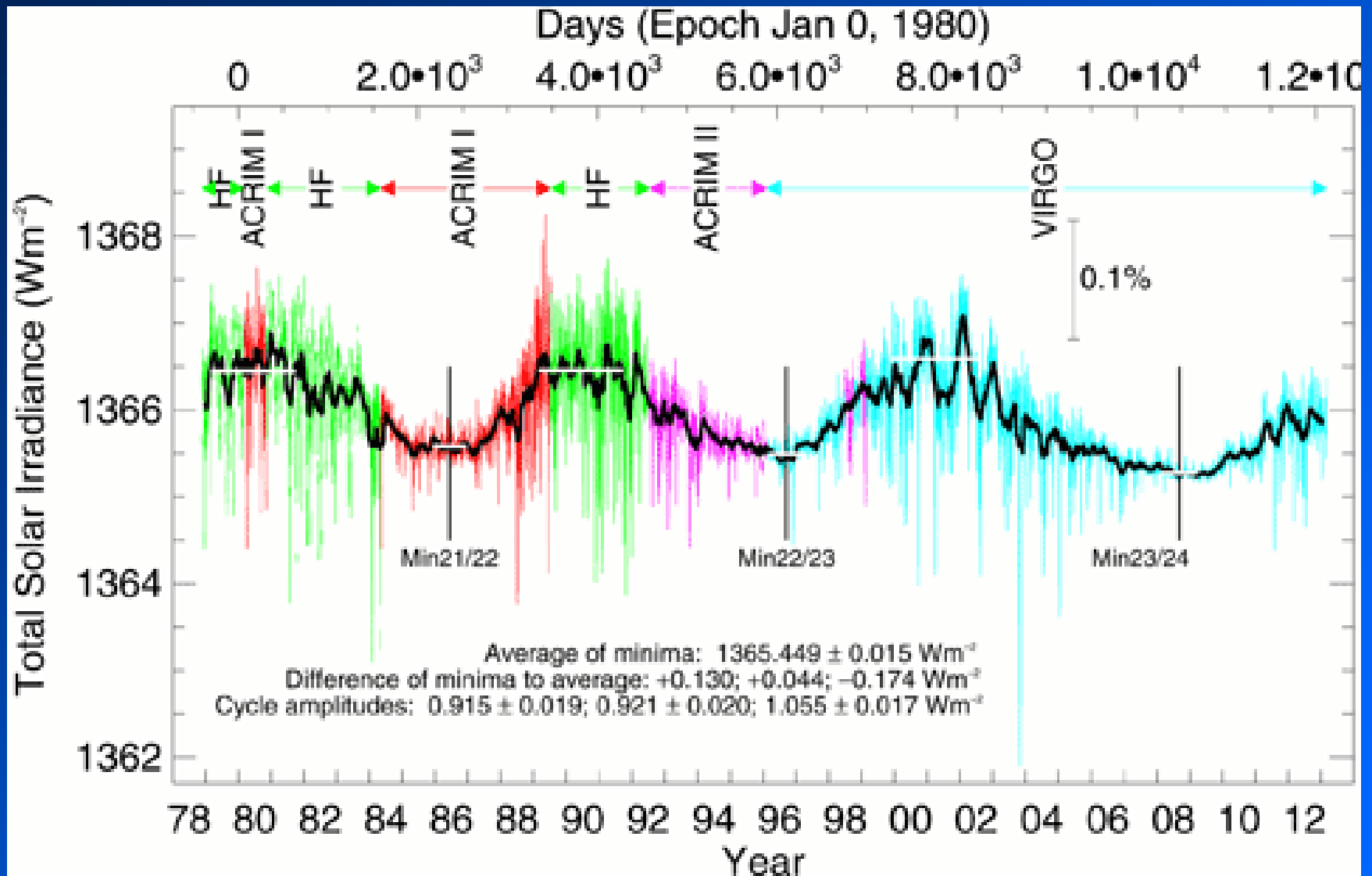


Hathaway/NASA/MSFC 2013/07

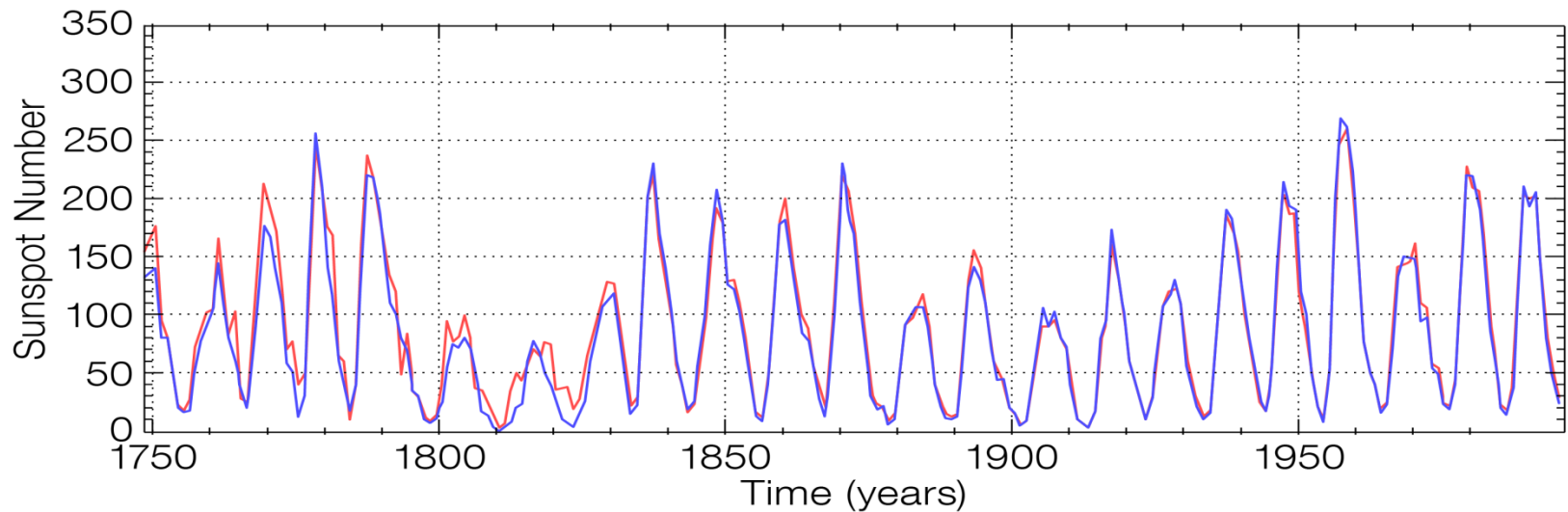
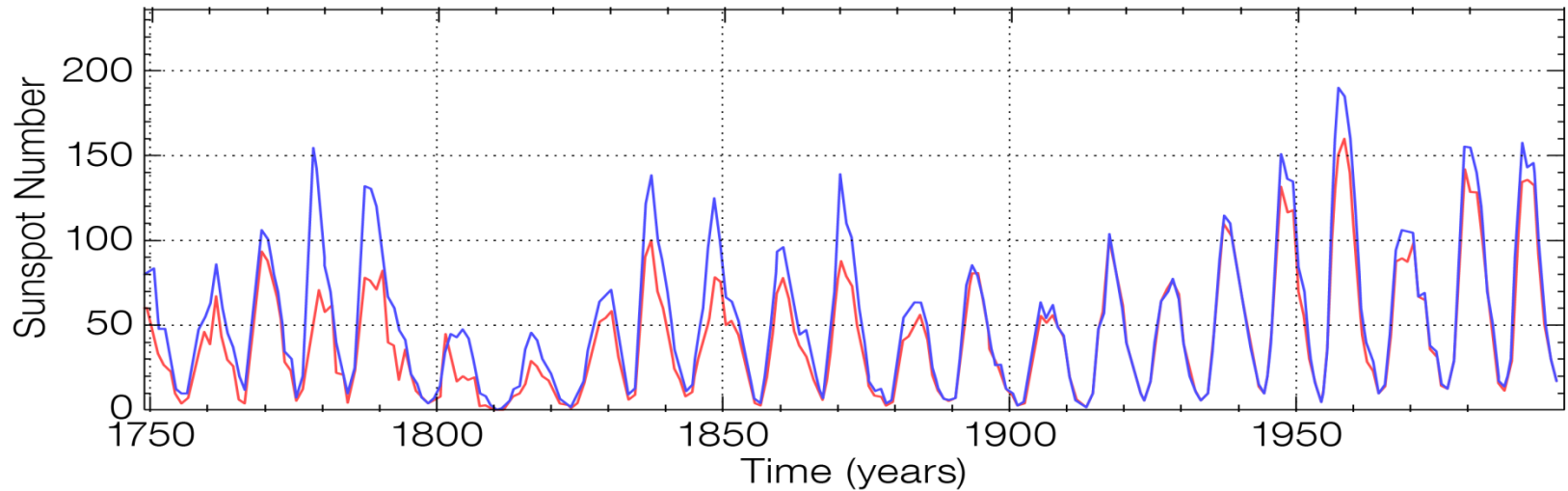
Variabilita magpoľa na póloch Slnka



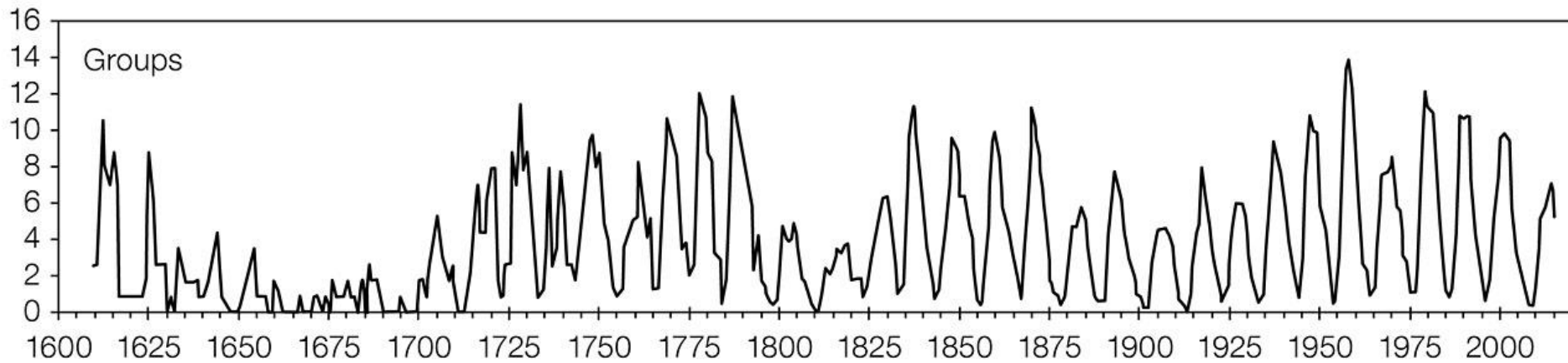
TSI



Inovovaný cyklus slnečnej aktivity

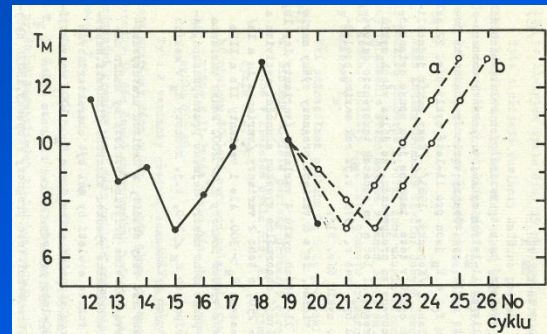
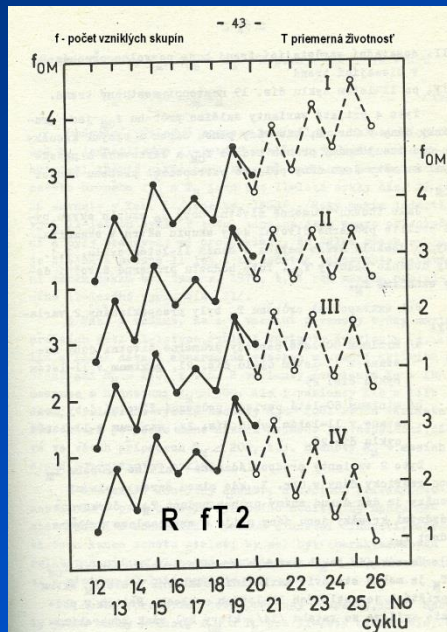


Cyklus slnečnej aktivity



Cykly slnečnej aktivity v budúcnosti

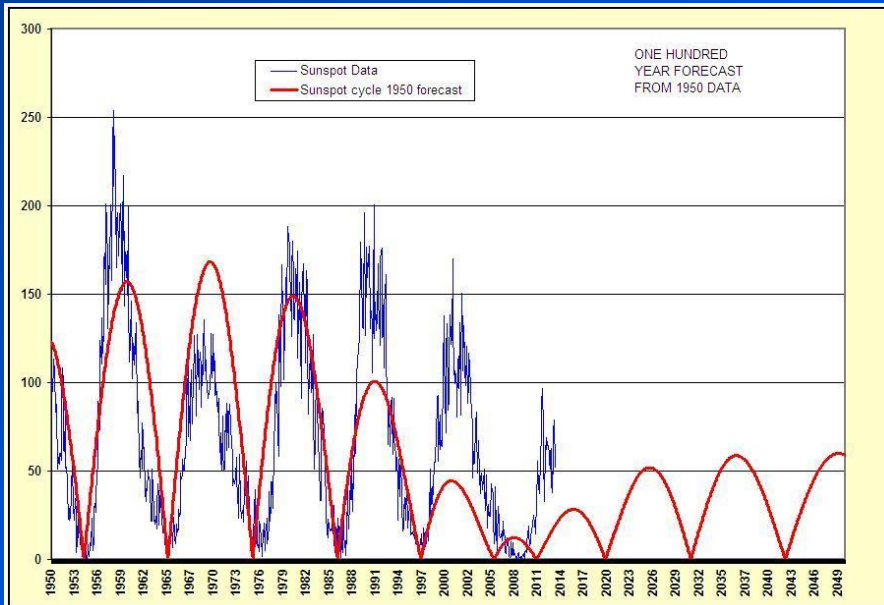
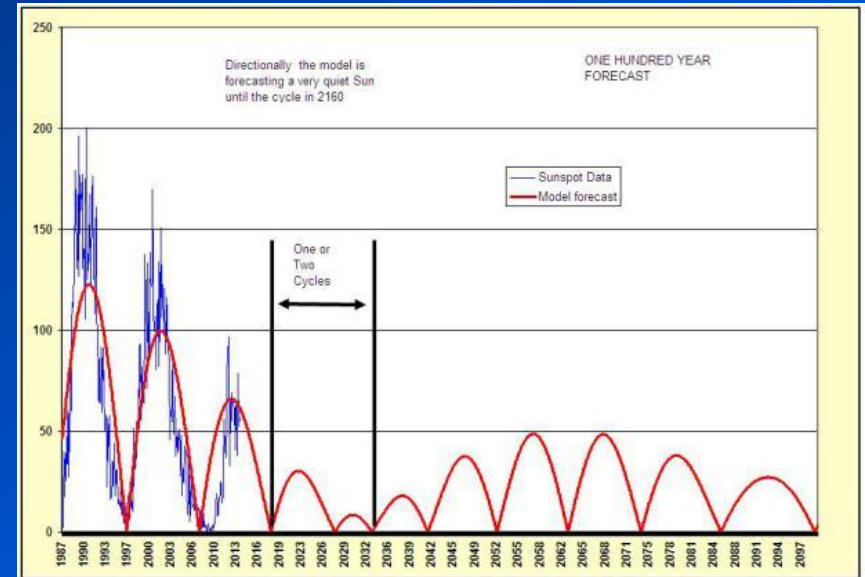
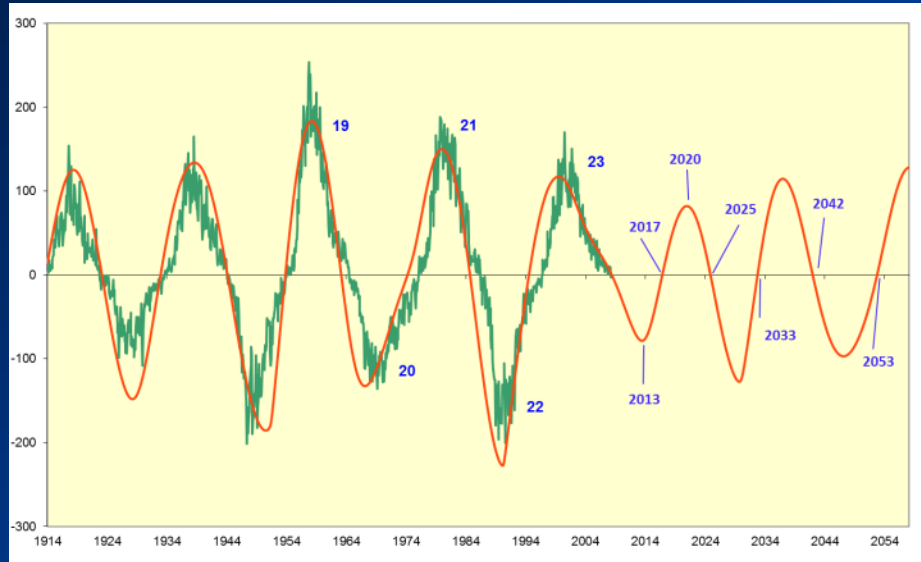
- Poznáme alebo nie? Skôr nie než áno.
- **David Archibald** (<http://wattsupwiththat.com/2011/07/13/archibald-climate-forecast-to-2050/>) – budúce cykly nízke
- **R.J. Salvador: Planetary model of 1000 yrs Solar Variation Plus 100yr Prediction** (www.tallbloke.wordpress.com) – budúce cykly nízke
- **Miloš Kopecký, 1983, Vztahy Slunce-Země, s. 37 (Předpověď abnormálně vysoké sluneční činnosti v příštím století a jejich možných negativních důsledku na Zemi)** – budúce cykly budú vysoké



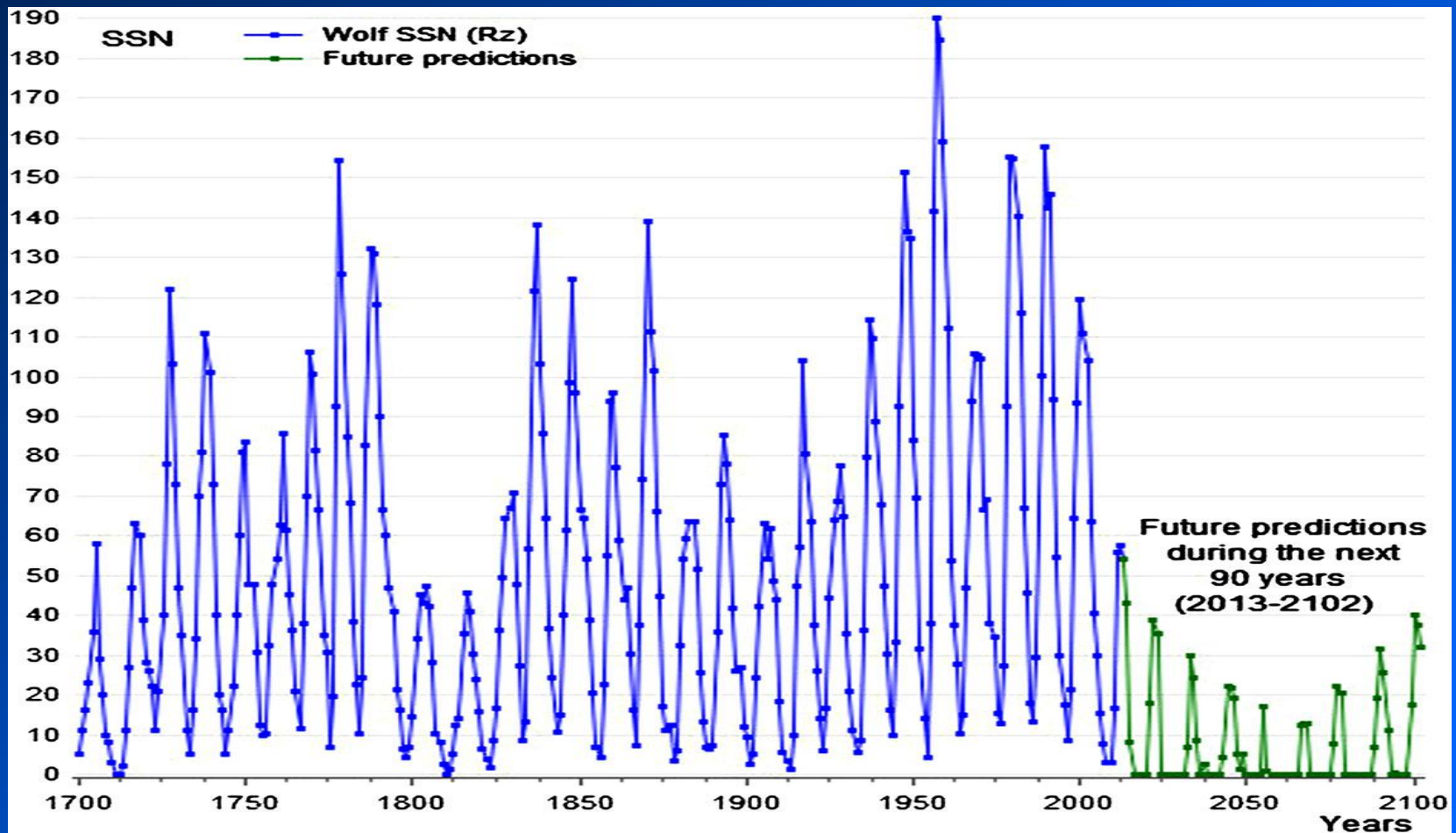
TABULKA I - Maximální roční relativní čísla R_w v příštích 11-letých cyklech

Čís. cyklu	Rok maxima	a				b			
		I.	II.	III.	IV.	I.	II.	III.	IV.
22	1990	105	90	86	60	71	61	58	41
23	2001	203	165	167	128	147	119	121	93
24	2012	217	164	152	86	164	124	115	65
25	2023	376	279	270	183	294	218	211	143
26	2034					308	210	178	78

Predpoved' Archibald a Salvador



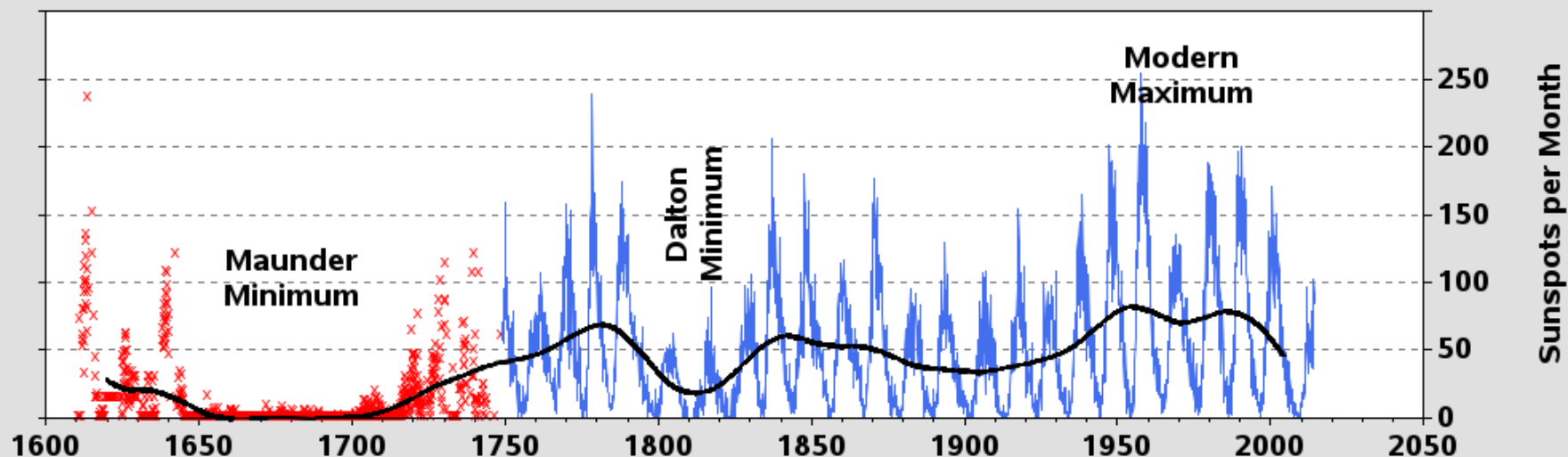
On the Verge of a Grand Solar Minimum: A Second Maunder Minimum? (Zachilas L. and A. Gkana, Solar Phys., 2015)



Maunderovo minimum

- Maunderovo minimum: 1645 – 1715 (termín zaviedol J.A. Eddy na základe prác Maundera a Spörera)
- Cyklus č. 1 začal v roku 1755, Marec do 1766, Jún.
- Stratený cyklus č. 4? Najdlhší cyklus s trvaním od 1784 do 198, teda 13.7 rokov a vraj to mohli byť dva cykly (Usoskin a iní 2009, ApJ 700/2, L154)

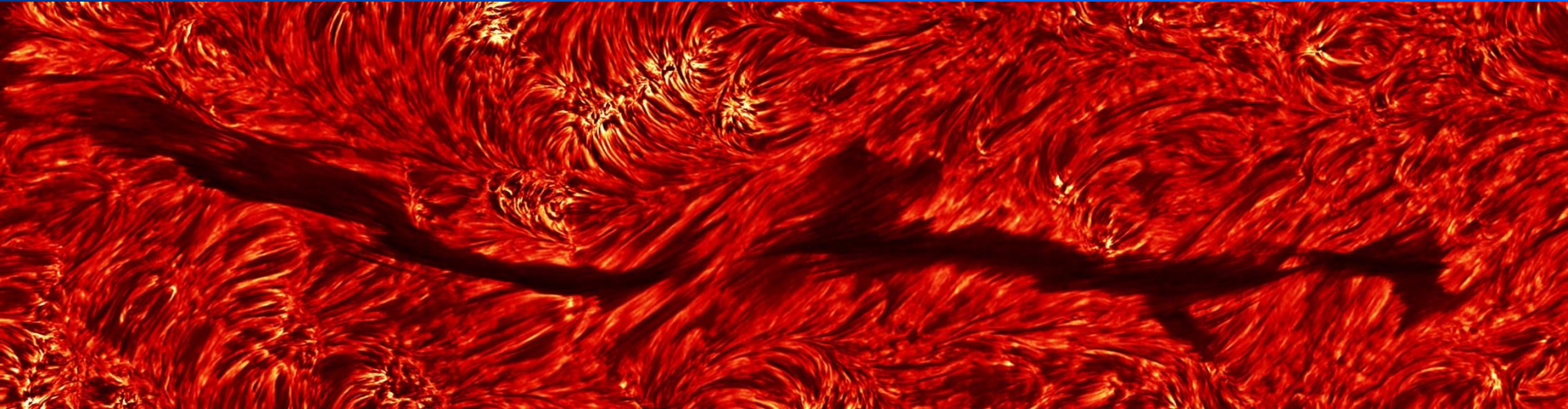
400 Years of Sunspot Observations



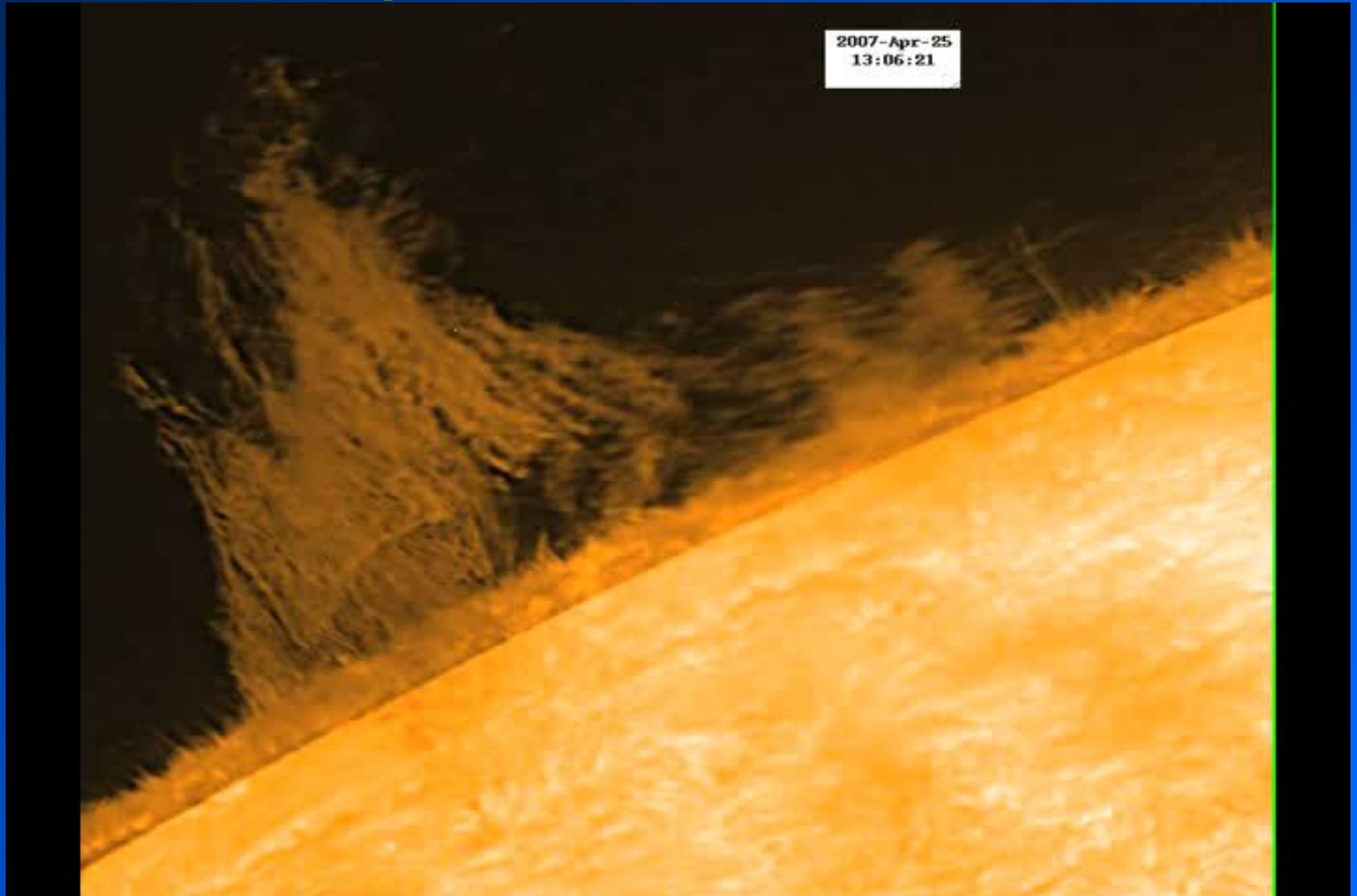
MM/Grand maximum bolo ... ale

- Usoskin a iní: 2015, AA, The Maunder minimum (1645–1715) was indeed a Grand minimum: A reassessment of multiple datasets.
- Keďže je v súčasnosti známych niekoľko miním, MM sa uvádza ako GRAND MINIMUM, lebo bolo najhlbšie a ani súčasný cyklus 24 nie je hlbší.
- Na reanalýzu brali všetky dostupné údaje zo Slnka, heliosféry (stopy slnečného vetra), C14, Be10, Ti44 (z meteoritov – nový parameter); cituje sa aj práca Křivského a Pejmla z roku 1988 (Publ. Astron. Inst. Czech Acad. Sci., 75, 32)
- Záver: amplitúda nie je známa a slnečné dynamo bolo v špeciálnom režime!

Protuberancia/filament

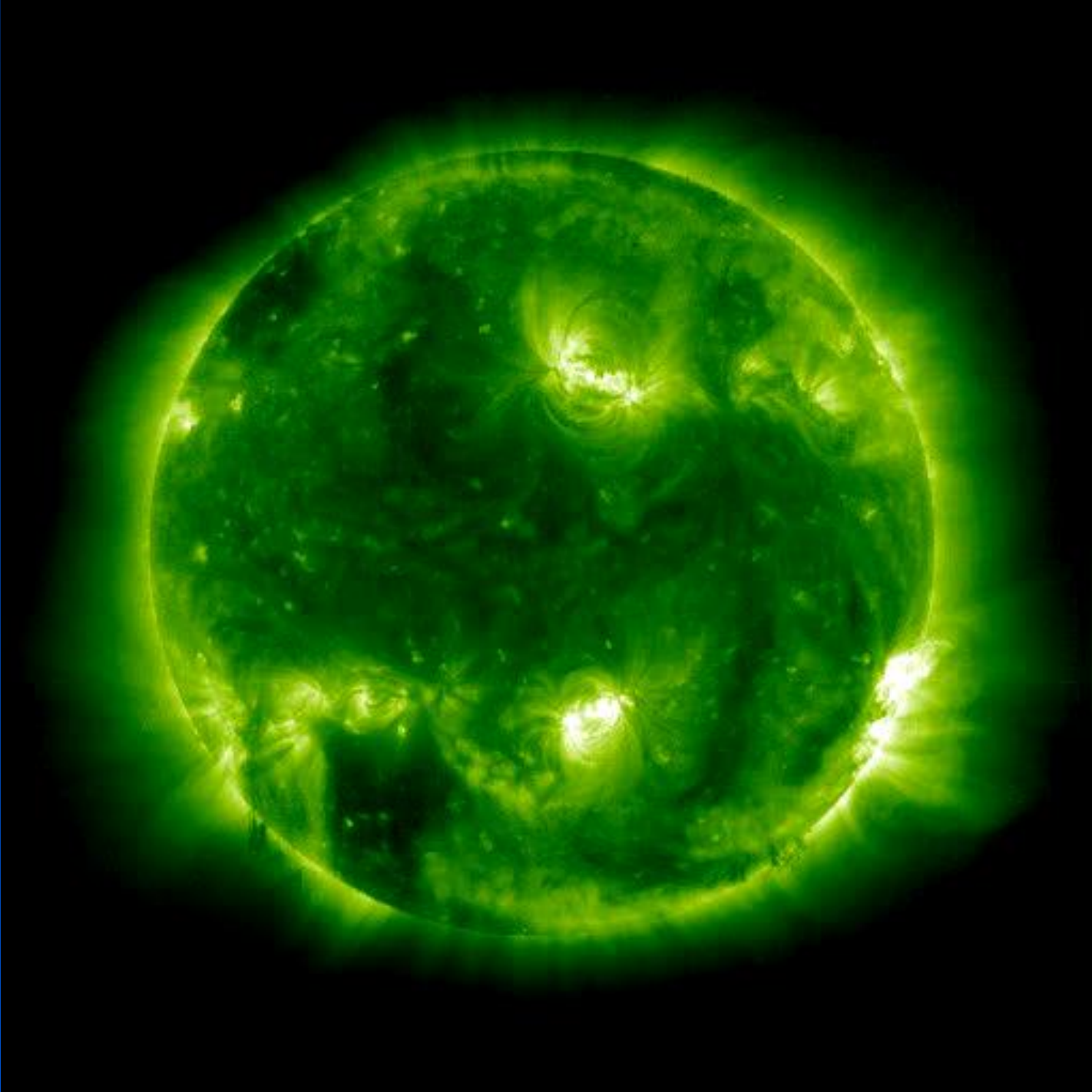


Dynamika v pokojnej protuberancii

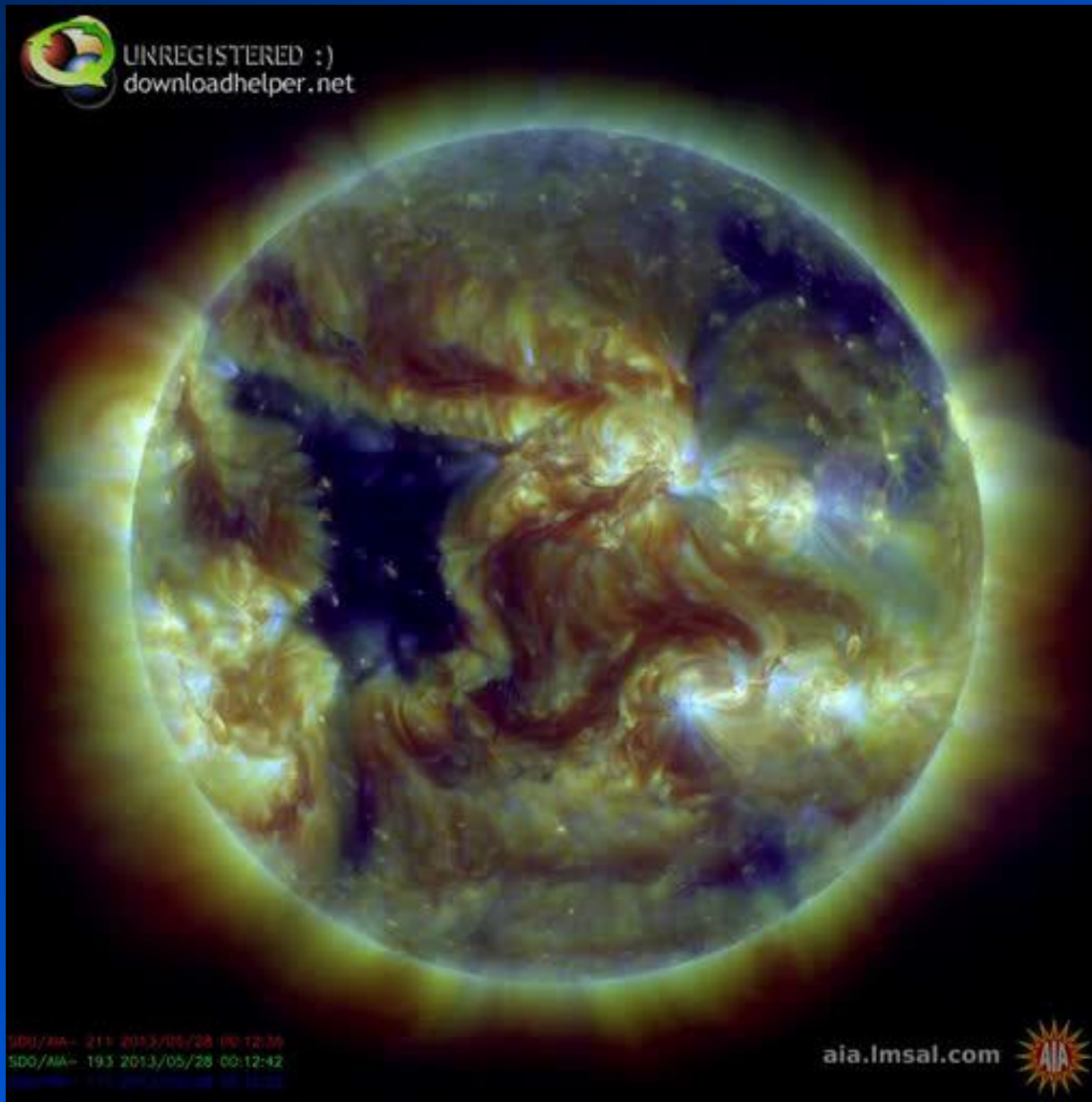


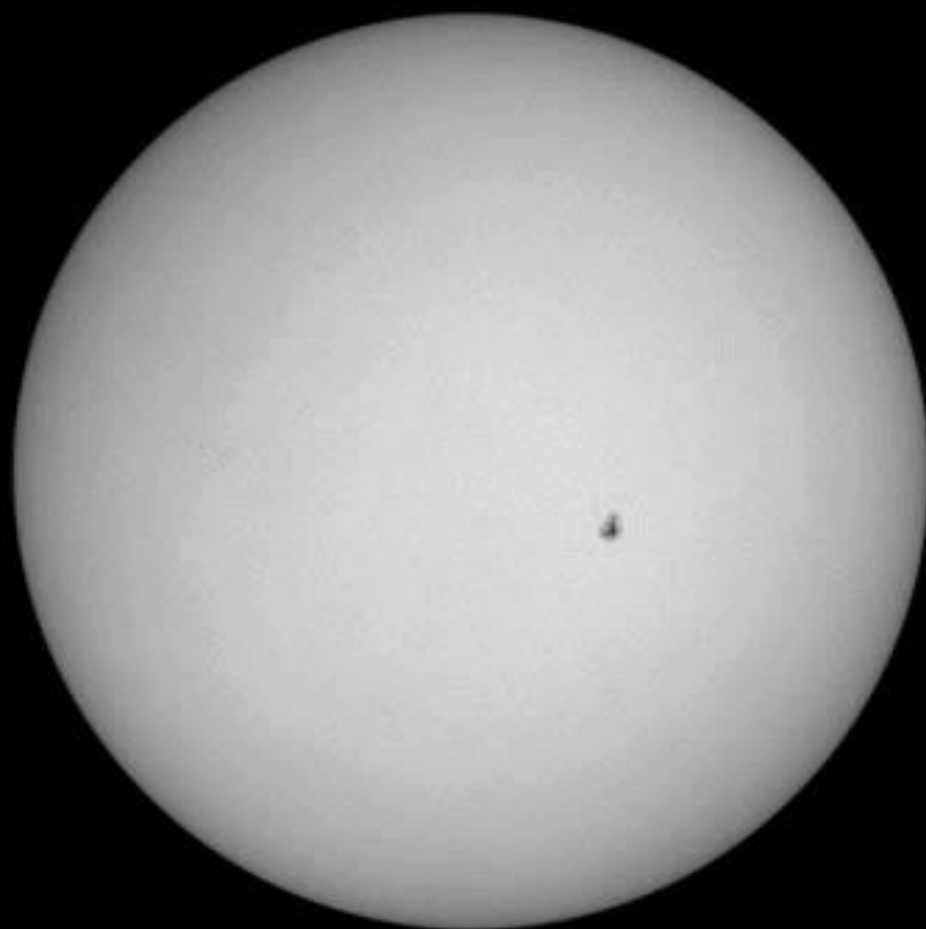
Eruptívna protuberancia



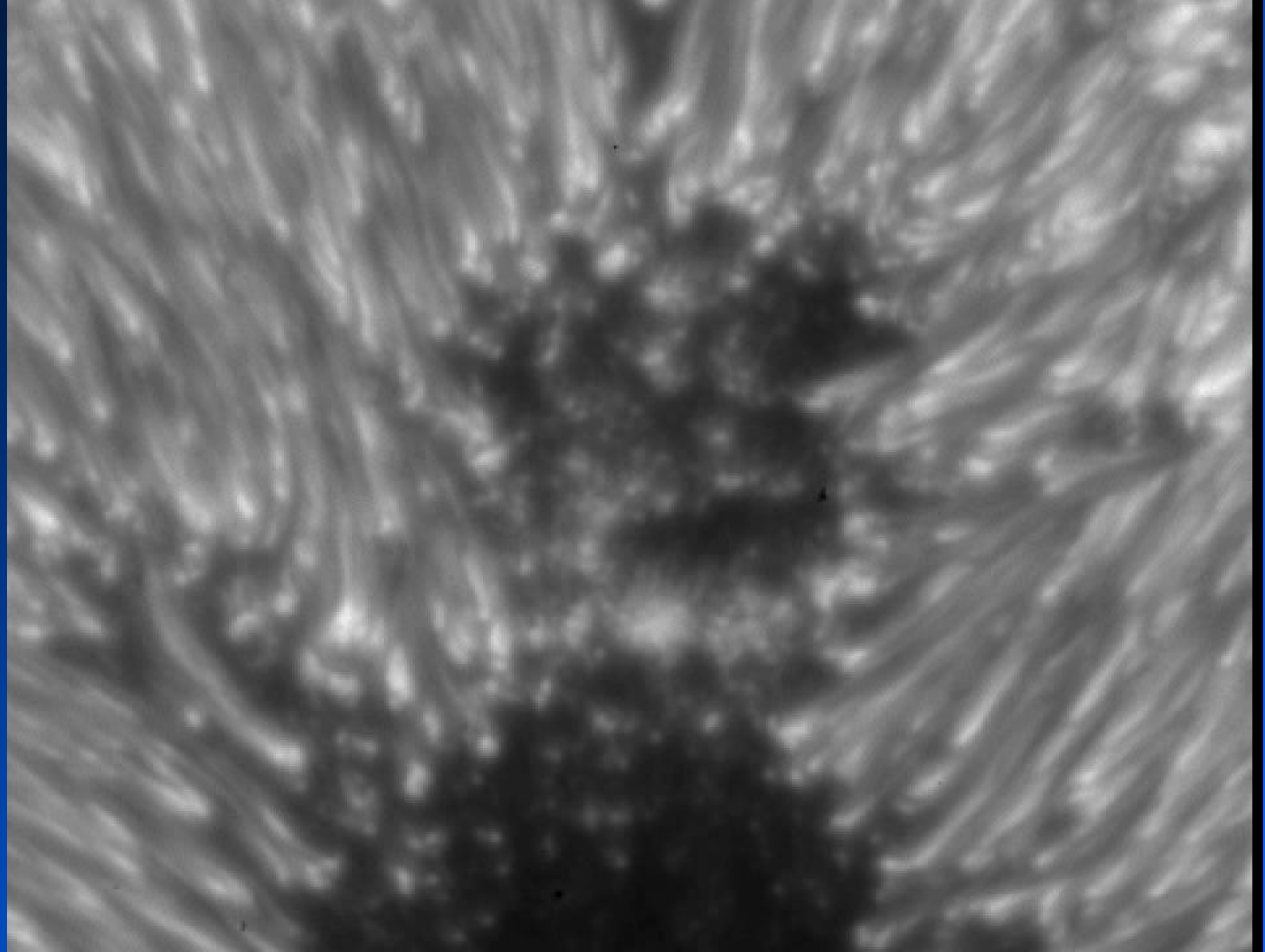


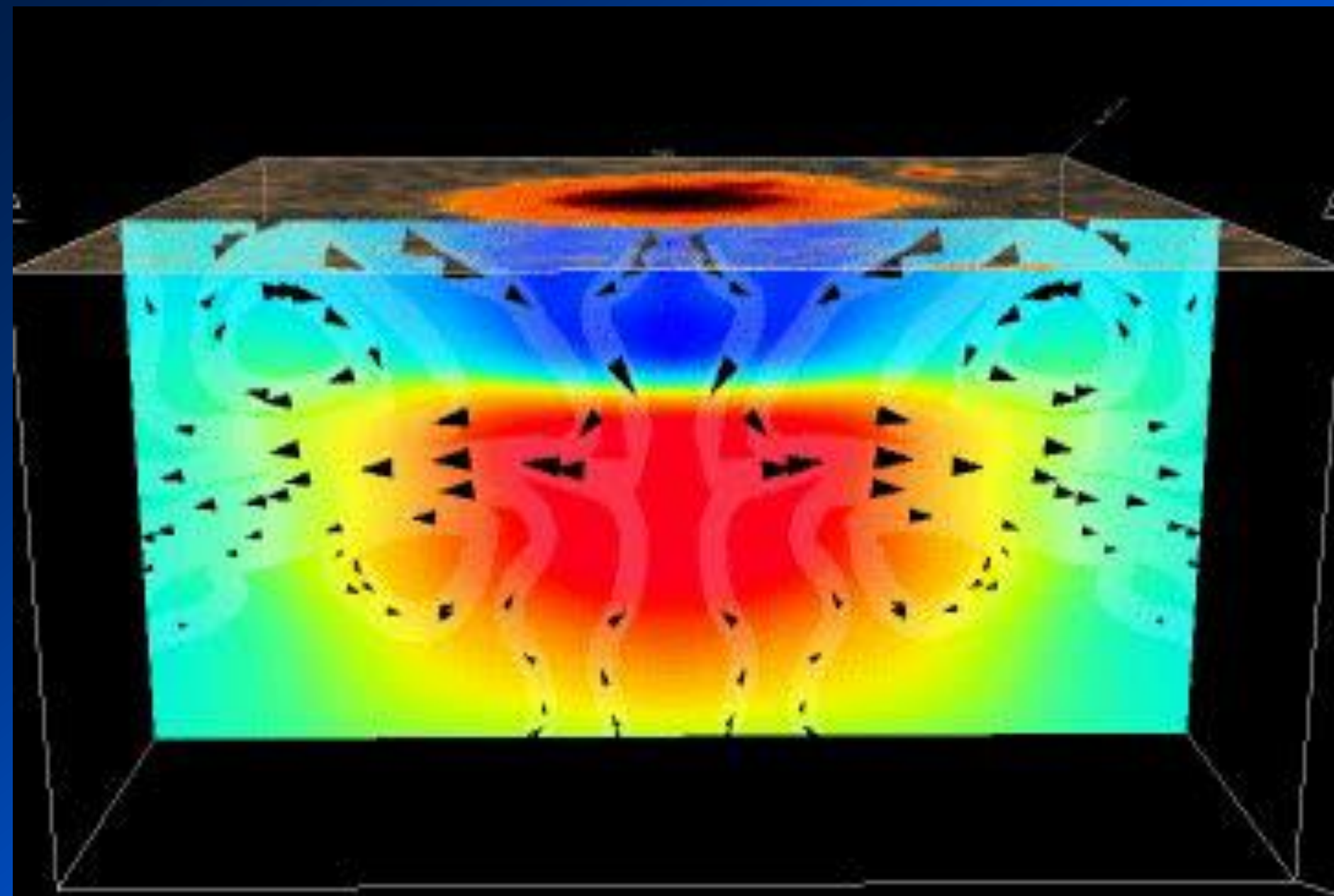
Rotácia koronálnej diery z SDO

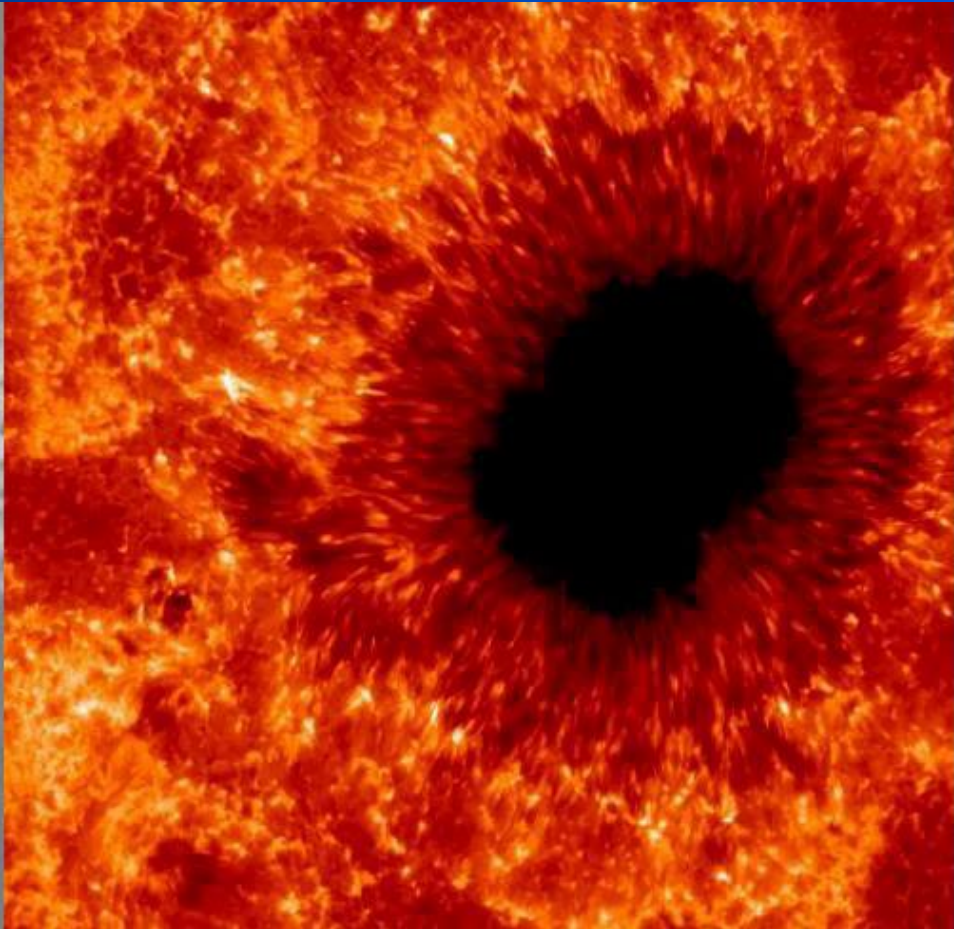
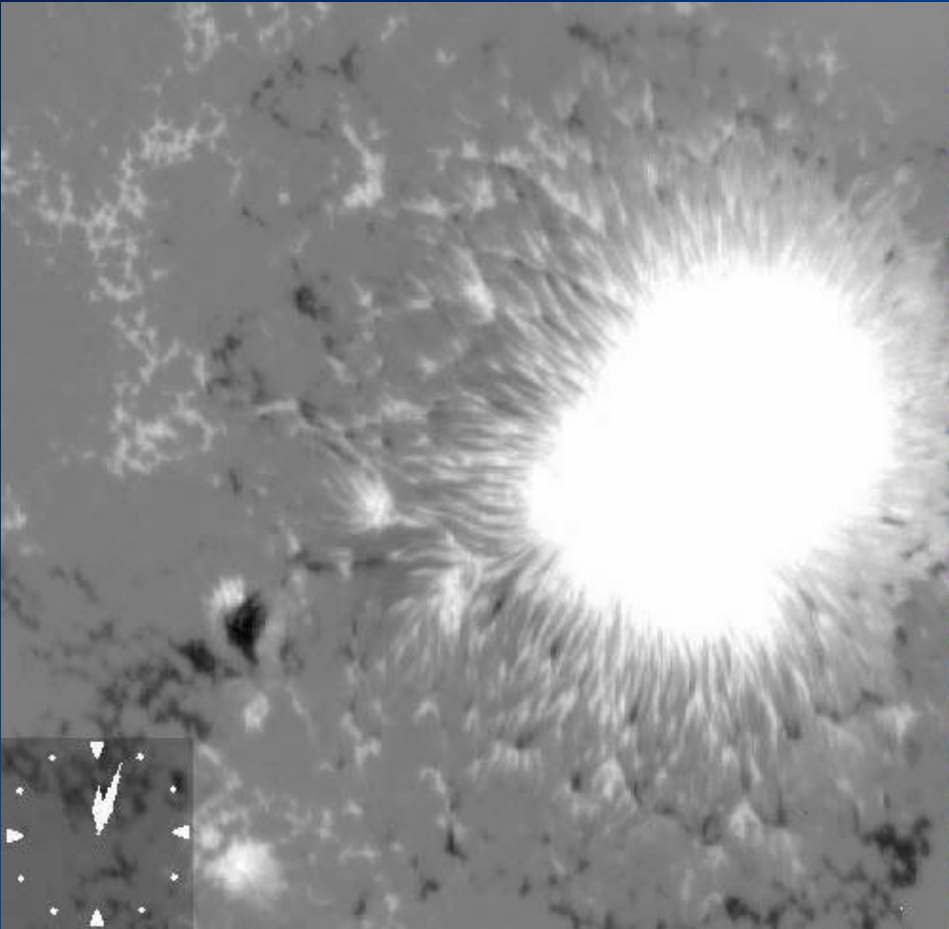


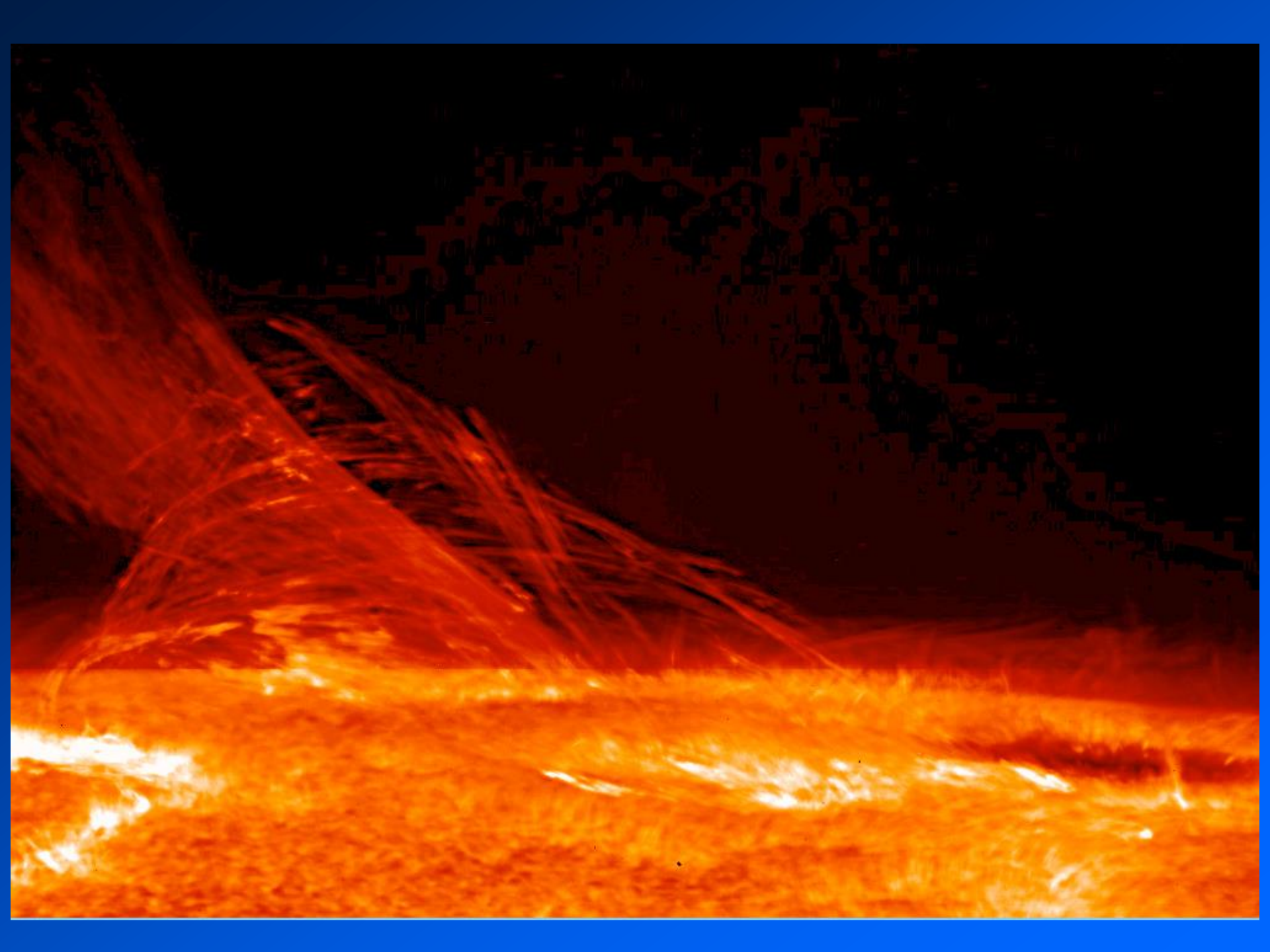


171,000 km



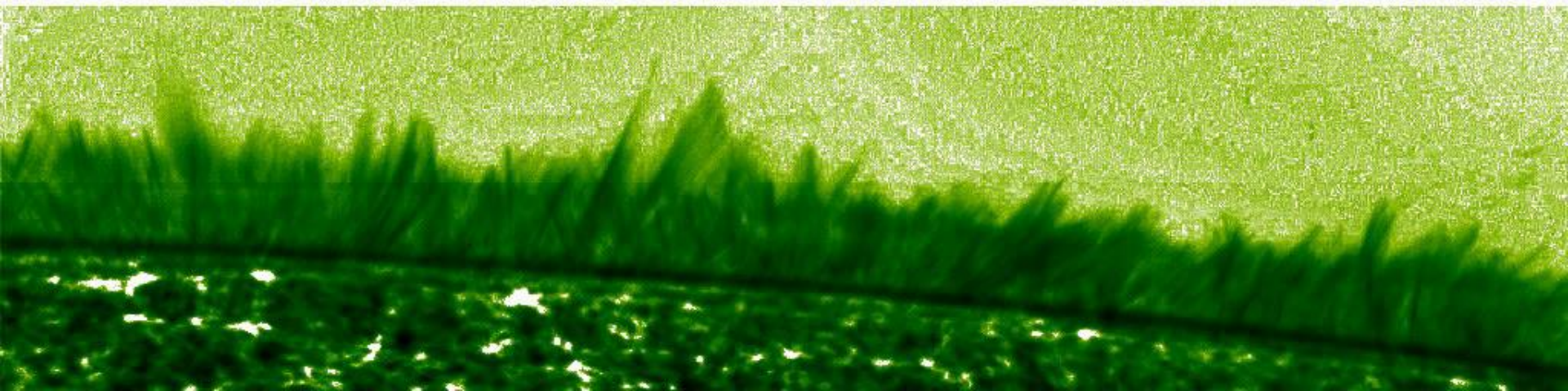




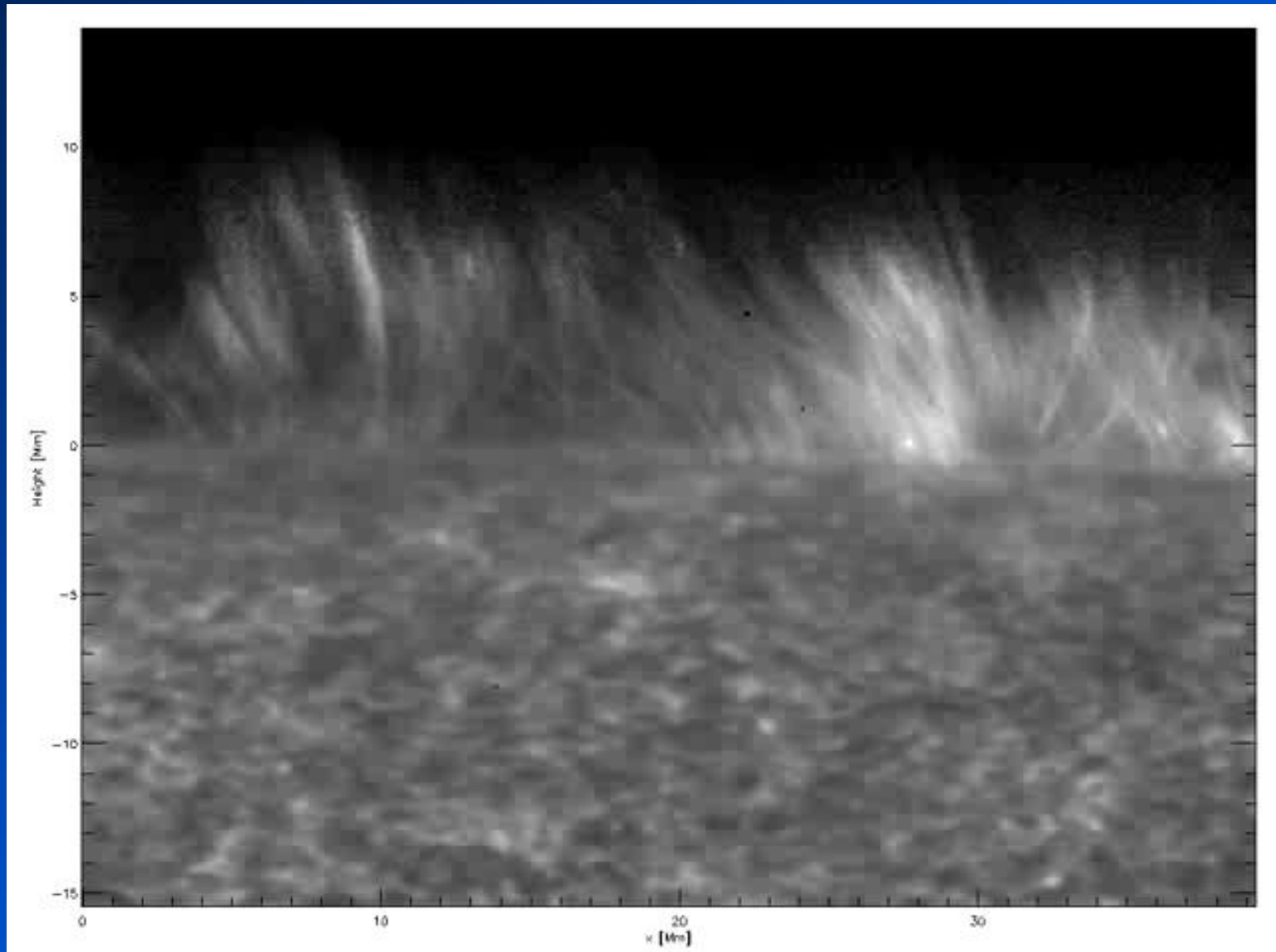


Dynamika chromosféry (spikule)

2006-11-22T05:57:31.405Z



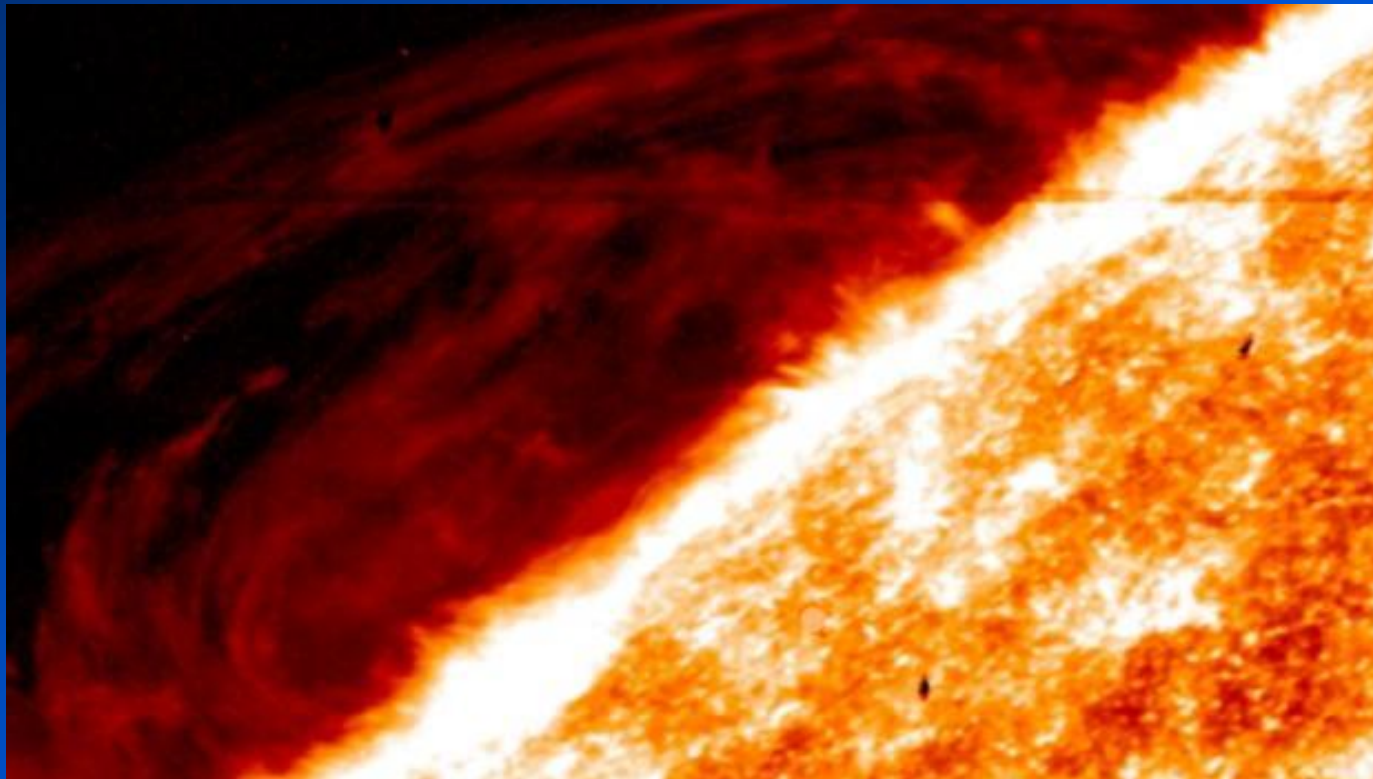
Spikuly typu II



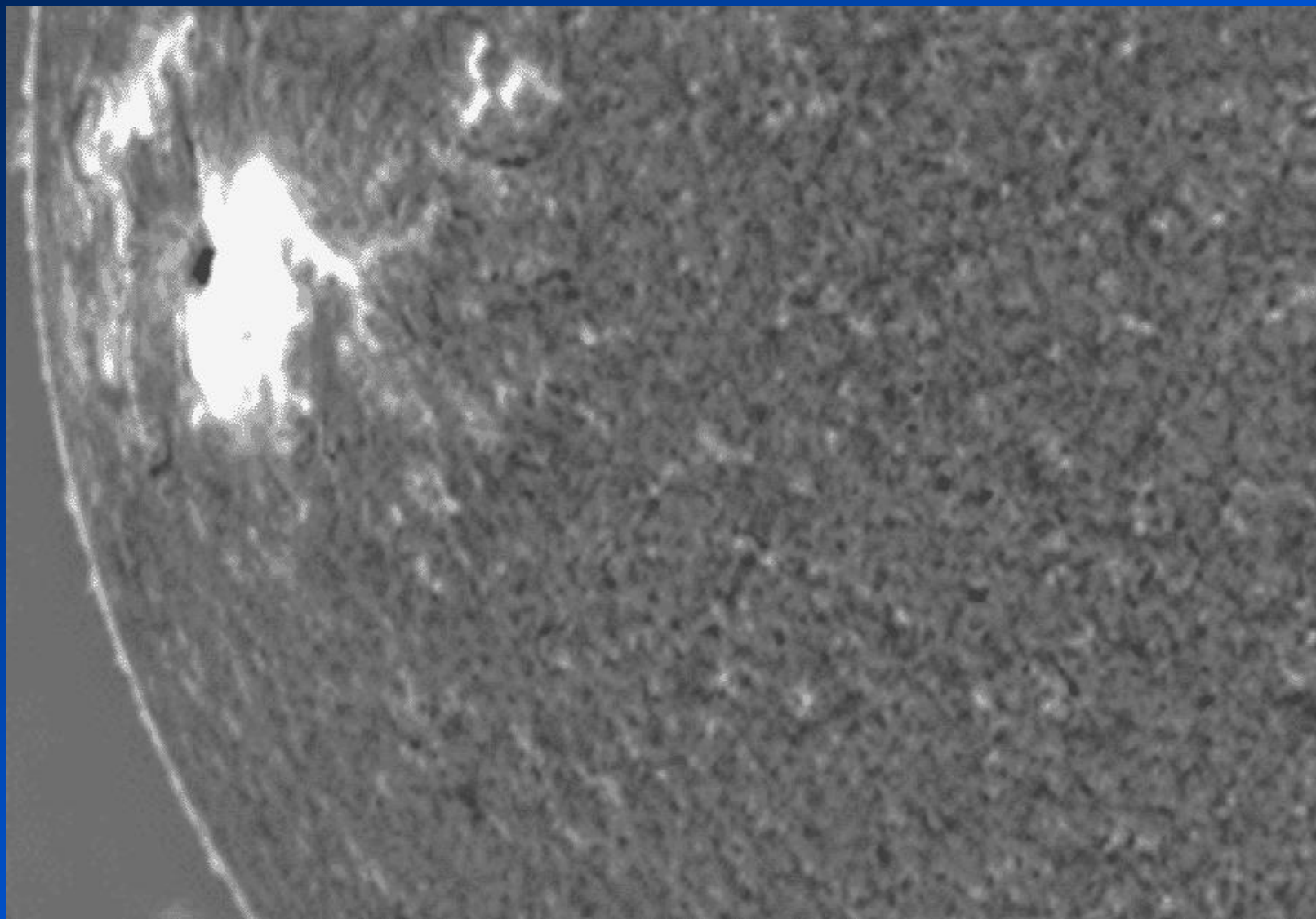
IRIS

(Interface Region Imaging Spectrograph)

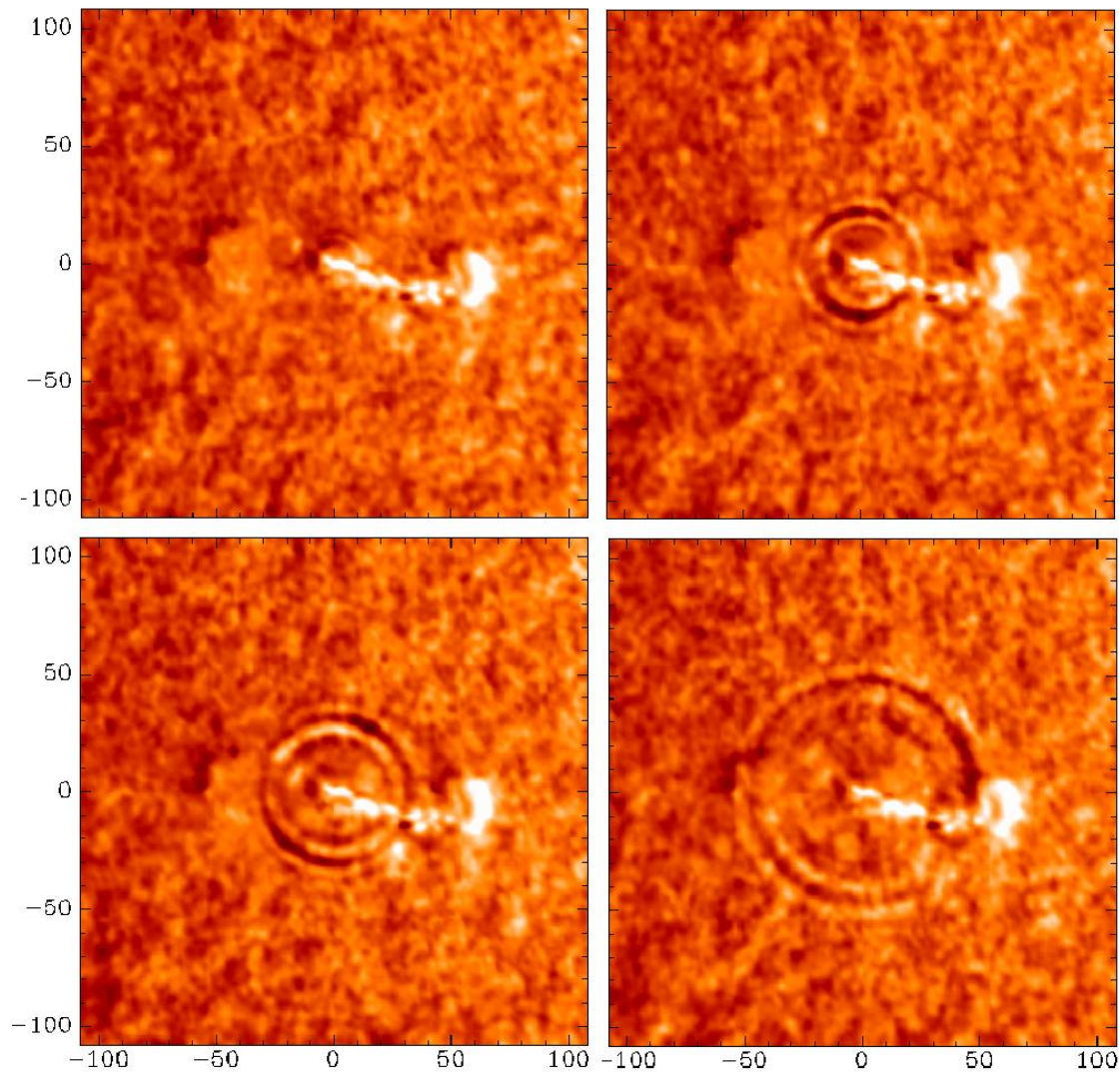
- Slnko pozoruje od 2013
- Rozlíšenie 240 km na povrchu Slnka



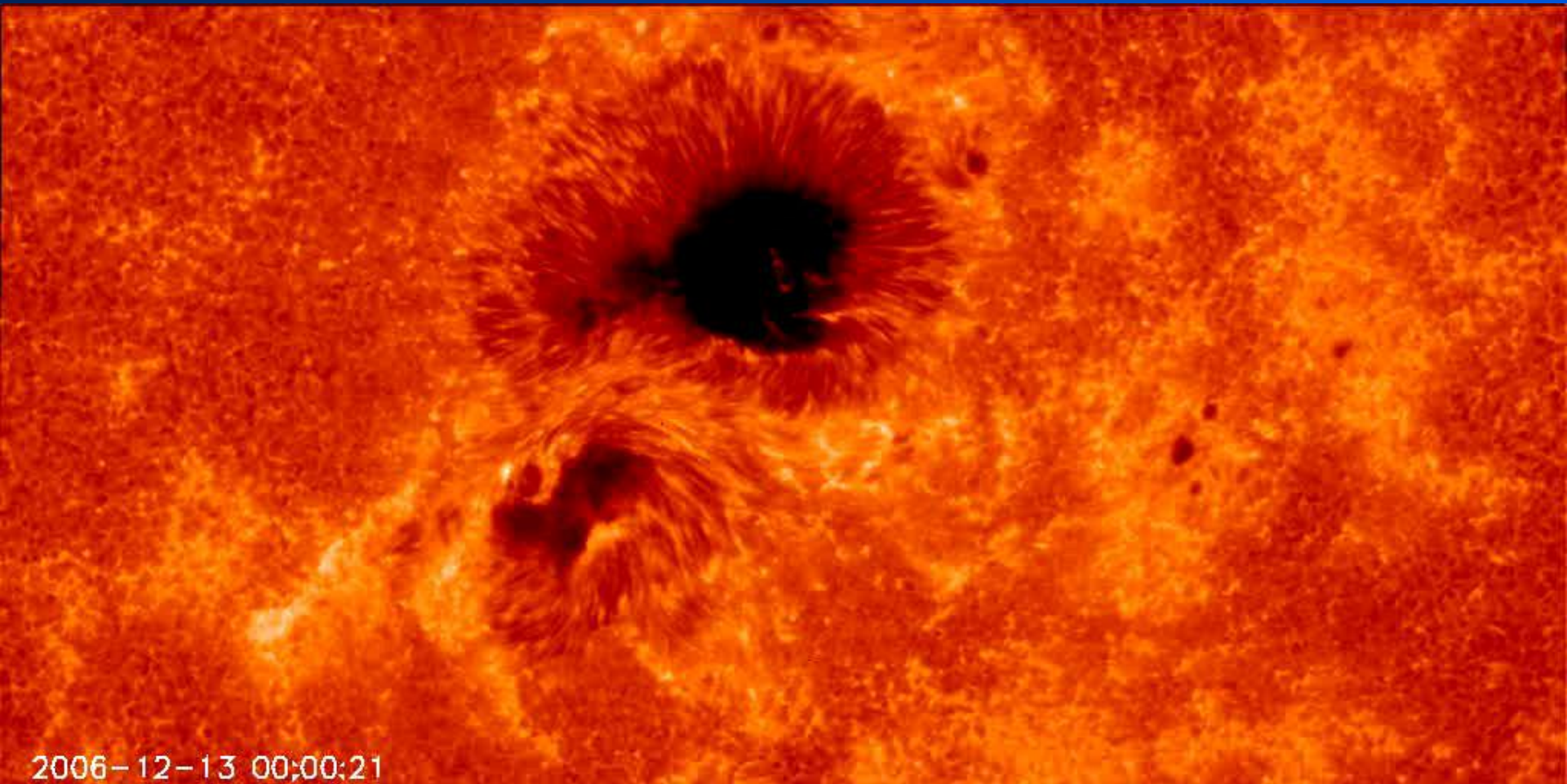
Moretonové vlny



Sinkotrasenie

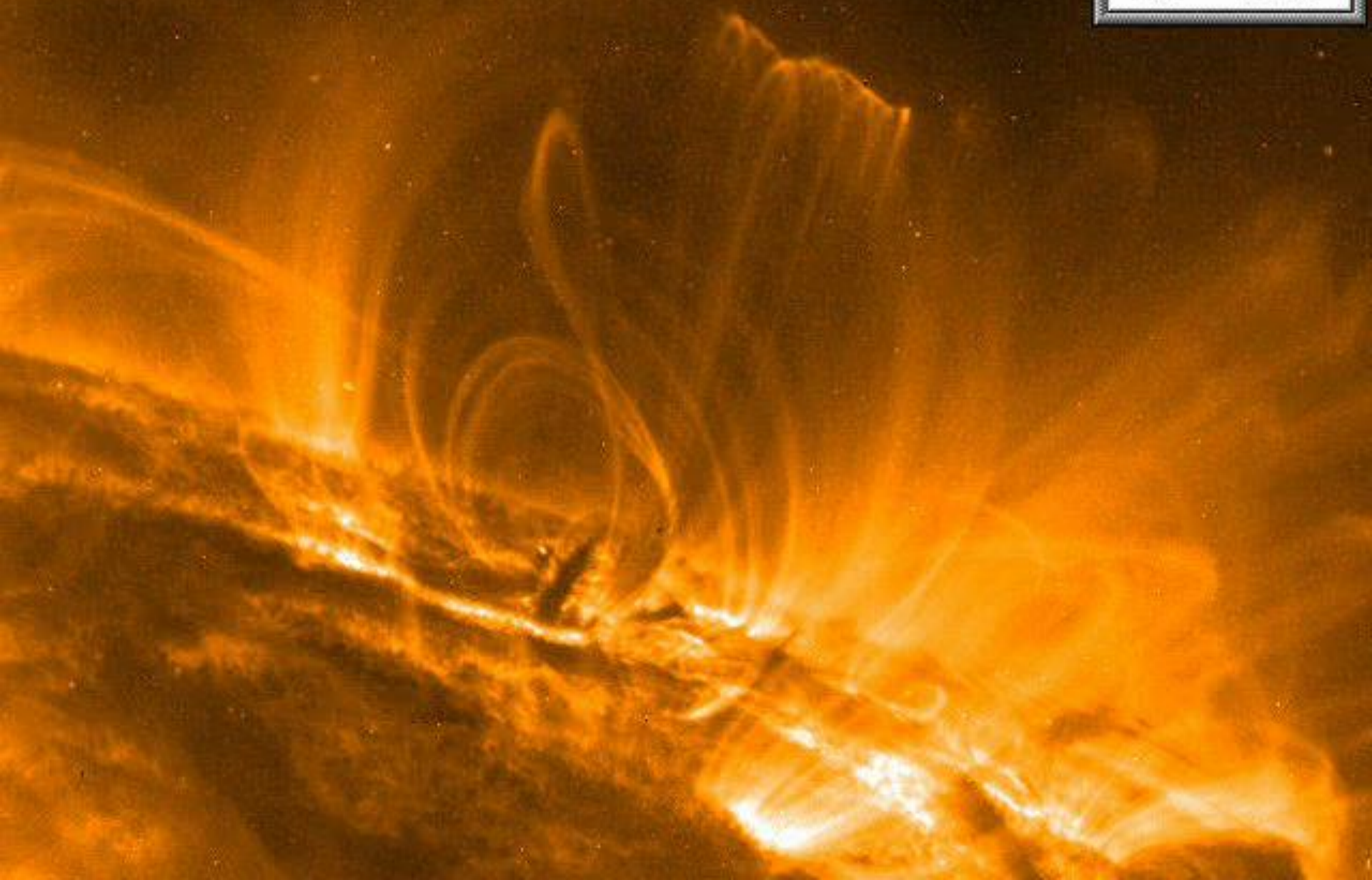


Erupcia

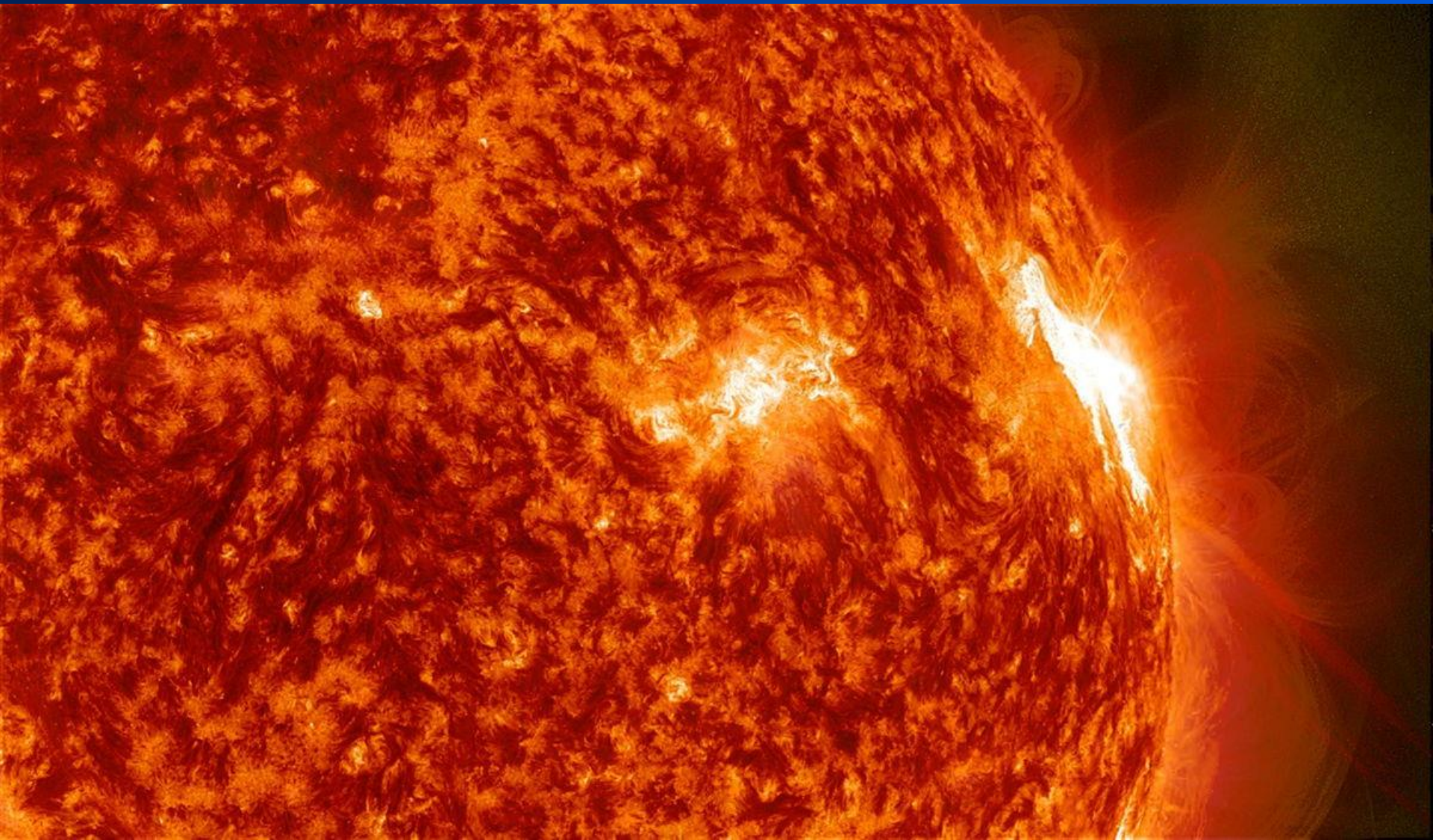


2006-12-13 00:00:21

2001-Apr-15
13:05:26
dt = 60.1



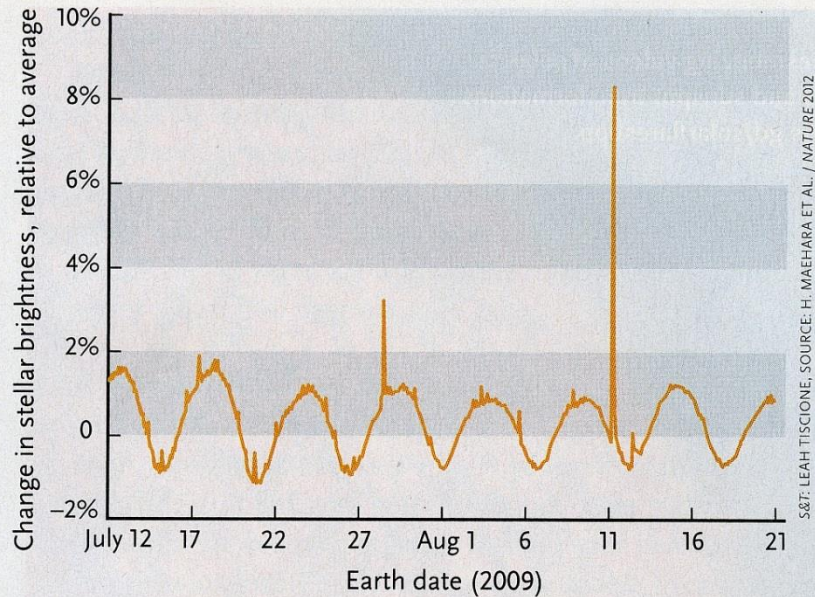
Erupcia 2013 – prvá detekcia antihmoty z povrchu Slnka



Supererupcie na Slnku?

- Erupcia – náhla premena magnetickej energie na žiarenie a uvoľnenie častíc
- Energetický rozsah na Slnku: od 1×10^{20} (nanoerupcia) do 6×10^{26} J = (6×10^{33} ergov) = ekvivalent 160,000,000,000 megatón TNT
- Klasifikácia: stará - podľa plochy (S,1,2,3,4) a jasú (f,n,b) na slnečnom disku ; nová – podľa toku častíc (W/mE2) meraných na družici GOES: A (menej ako 10^{-7}), B, C, M, X (viac ako 10^{-4})
- Trvanie: od sekúnd po hodiny
- Prečo supererupcia?
- Pozorovania erupcií na hviezdach Slnku podobných, ich energia je rôzná – najsilnejšia pozorovaná na hviezde KIC 6034120 z nich mala 3×10^{35} ergov (3×10^{28} J).
- Doteraz bolo pozorovaných okolo 400 SE na 150 hviezdach

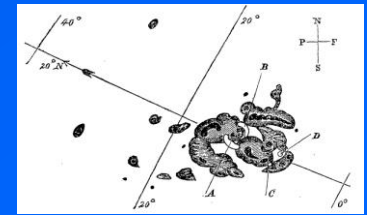
Supererupcie na gwiazdach

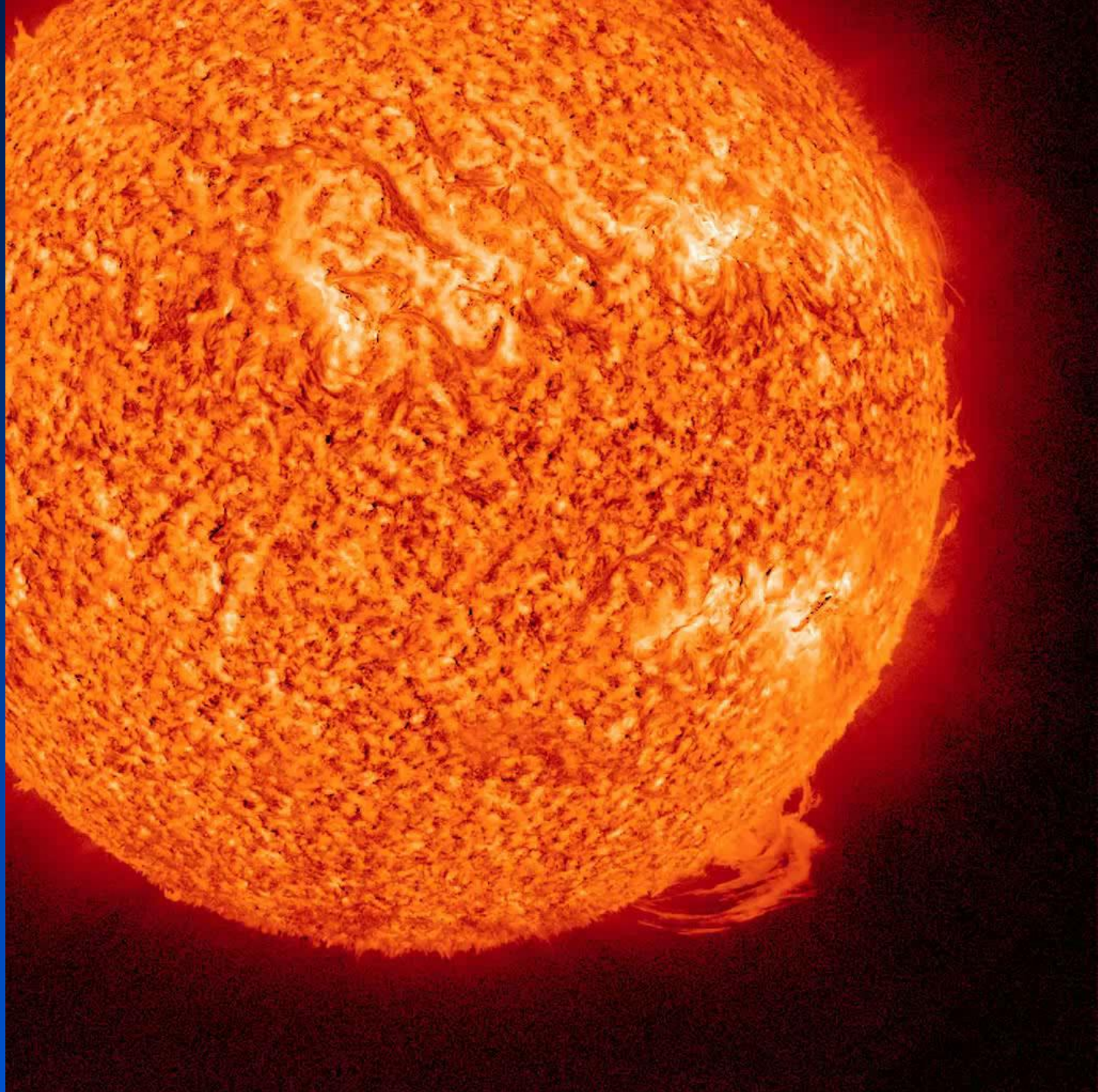


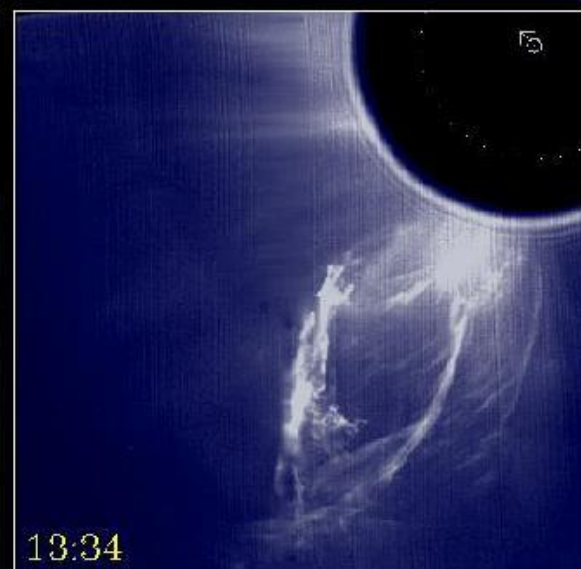
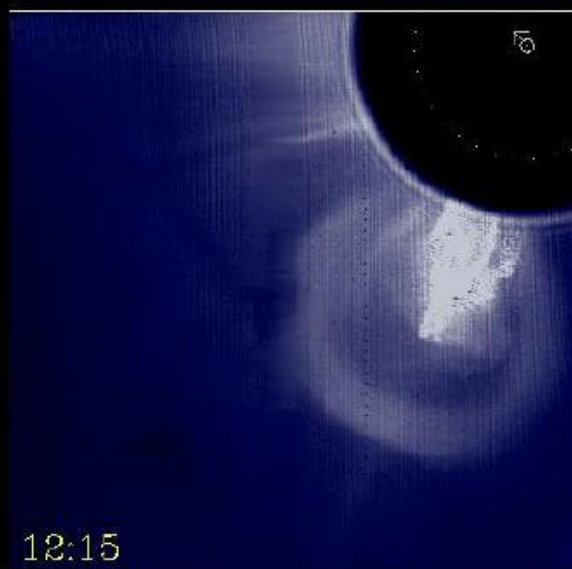
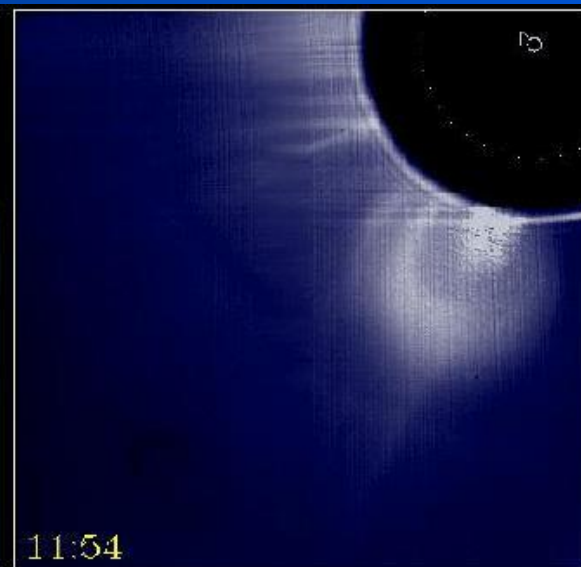
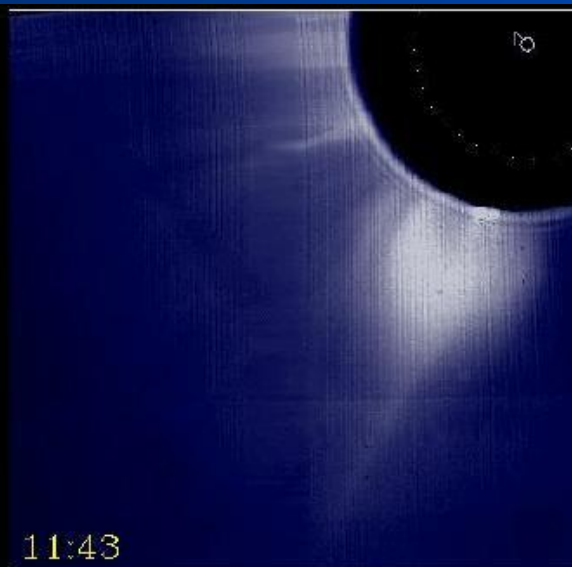
SUPERFLARE SPOTTED Hiroyuki Maehara's team used Kepler data to discover 365 superflares on Sun-like stars, including this flare on the star KIC 6034120. The superflare lasted 5½ hours and had a total estimated energy of 3×10^{35} ergs, or about a hundred times larger than the largest flare ever observed on the Sun. The team infers that the periodic variations in the light curve likely come from starspots rotating in and out of view as the star spins.

Môže byť supererupcia na Slnku?

- V zásade áno, ale nie vo veľkosti 6×10^{28}
- Ale ... Za posledných 200 rokov najväčšia bola pozorovaná 1.9.1859 (biela erupcia) – vraj by odpísala polovičku družíc
- je podmienkou silná koncentrácia magnetických polí vo fotosfére alebo ich zložitá konfigurácia? Konfigurácia.
- Detekcia silných erupcií pomocou rádioaktívneho C-14 (množstvo závisí od počtu vysokoenergetických častíc z erupcií), ktorý absorbujú stromy
- Miyake v 2012 publikoval prácu, kde ukázal nárast v roku 775 (letokruhy borovice), výskyt bol neskôr potvrdený v iných stromoch na Zemi.
- Berylium 10 – sekundárny produkt zvýšenej radiácie v zemskej atmosfére sa cez sneh dostáva na Zem. Analýza snehu v Antarktíde potvrdila rok 775.
- Príčina? Nie je známa, ale supernova to nemohla byť. A Slnko – po erupcii z 1.9.859 sa zvýšený výskyt C-14 ani Be-10 nenašlo.
- Miyake podobný nárast našiel o 200 rokov neskôr.
- Záver: môže nastať, silnejšia ako 4.11.2003 cca za 10 rokov, 100 silnejšia cca o 40 rokov.

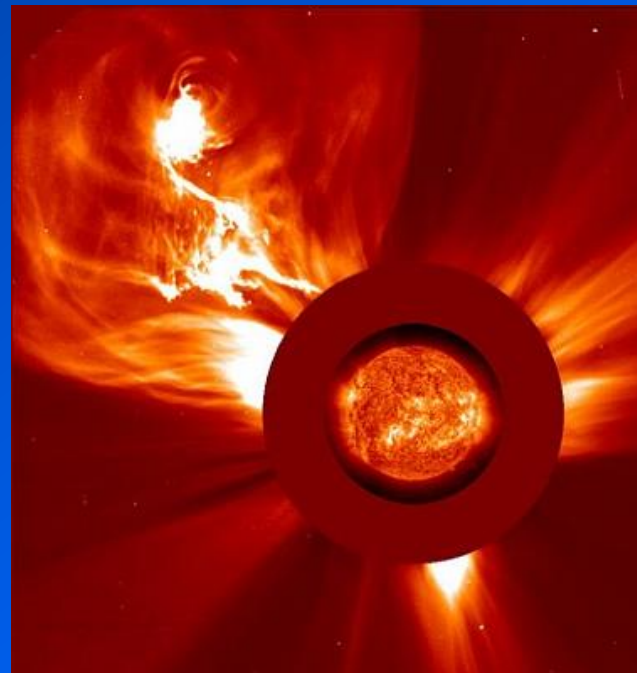




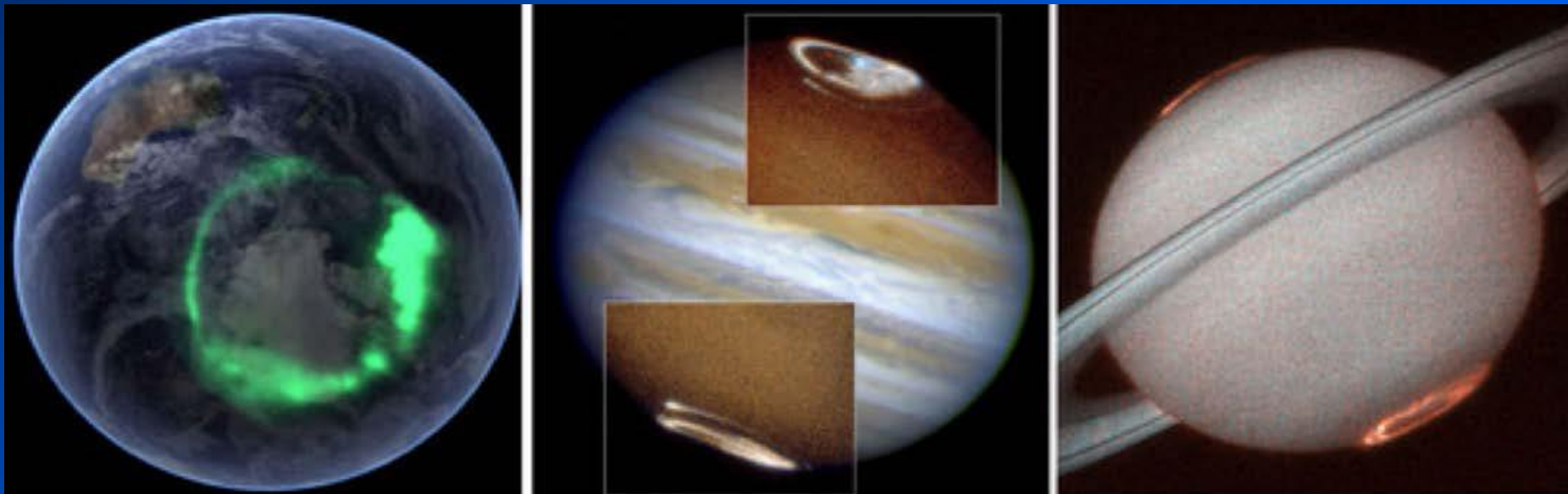


CME (Ejekcia koronálnej hmoty)

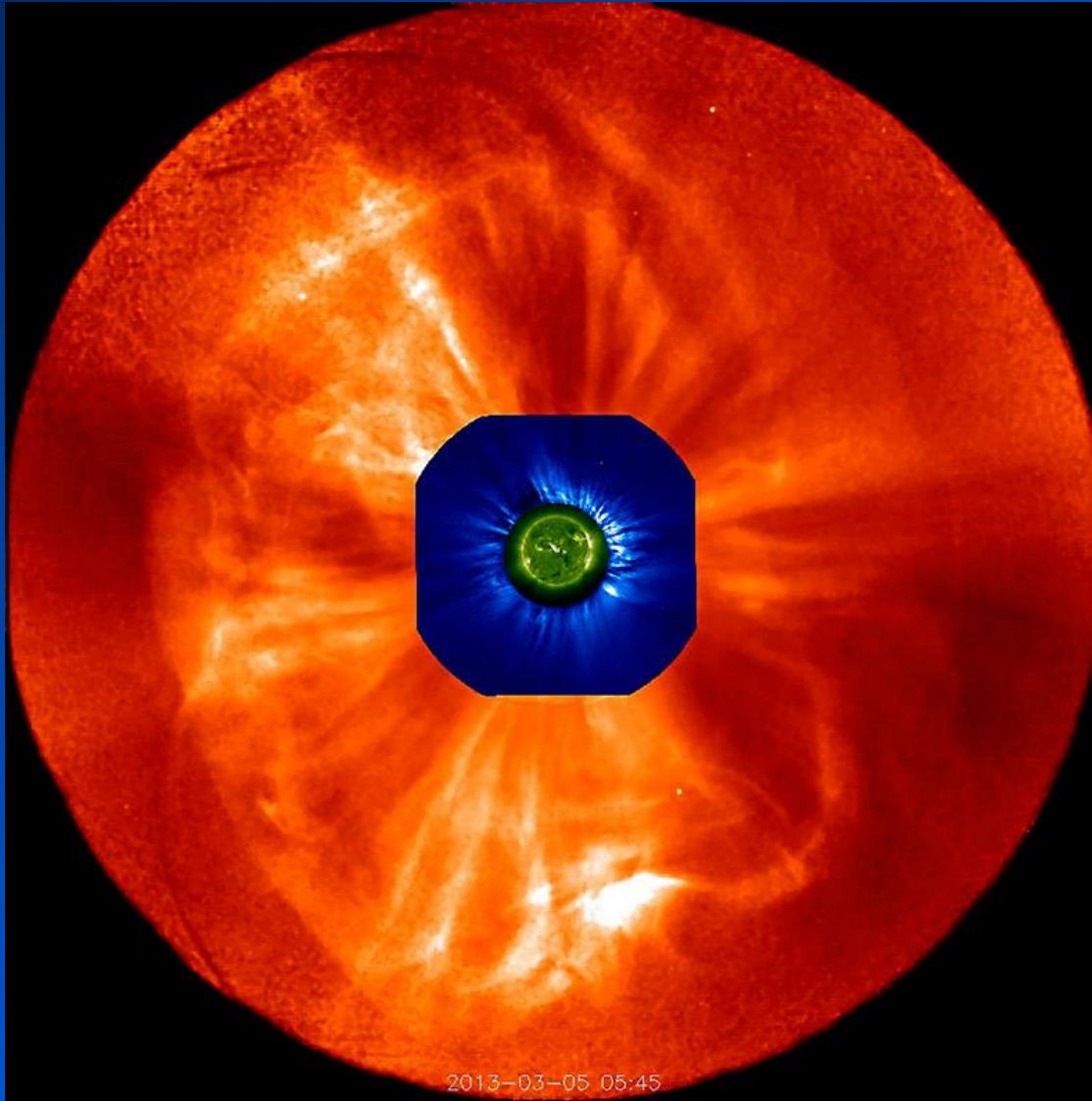
- Zatmenie 18. Júna 1860 - prvá detekcia CME; G. Tempel; *Reproduced from Ranyard, C.A 1879, Mem. Roy. Astron. Soc., 41, 520, chap. 44*
- OSO 7 – 1971, prvá priama detekcia (R. Tousey 1973), Solar Maximum Mission 1980 (April), zo zatmenia 16.2.1980 (Sky a my)
- Rýchlosti od 20 do 3200 km/s; hmotnosť $1,6 \times 10^{12}$ kg (priemerná)



Efekt erupcií na planétách



Halo CME



2013-03-05 05:45



CME a Zem

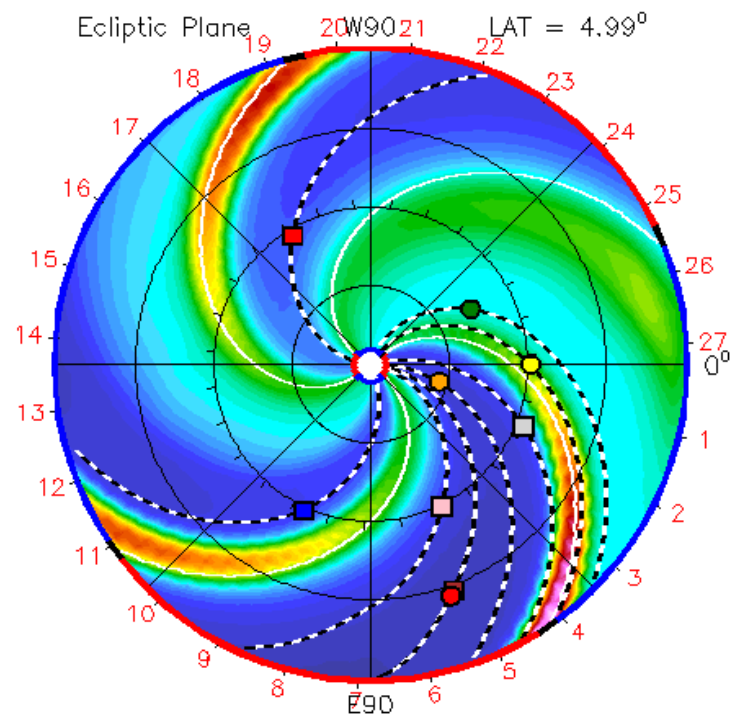
- CME vplývajú na ionosféru, magnetické pole Zeme a pod.
- Korelácia o zmiznutí filamentu v centre Slnka a geomagnetickými búrkami študovali už B. Bednařová-Nováková a J. Halenka (Geof. Ústav AV ČR) v 80. rokoch 20. storočia, i keď dôvody sa nepoznali (halo CME); (Geofyzikalni Sbornik, vol. 22 (1974), no. 416-430, 1976, p. 277-320.)
- Mechanizmus vzniku CME nie je známy, v každom prípade to ide na účet zjednodušenia magnetického poľa.

Šírenie častíc zo Slnka

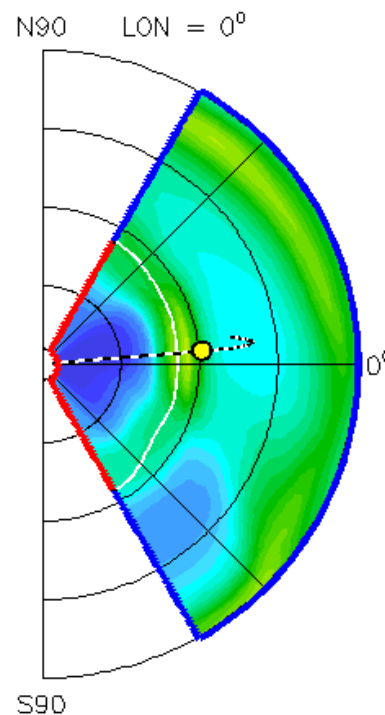
2012-07-22T00:00

2012-07-22T00 +0.00 day

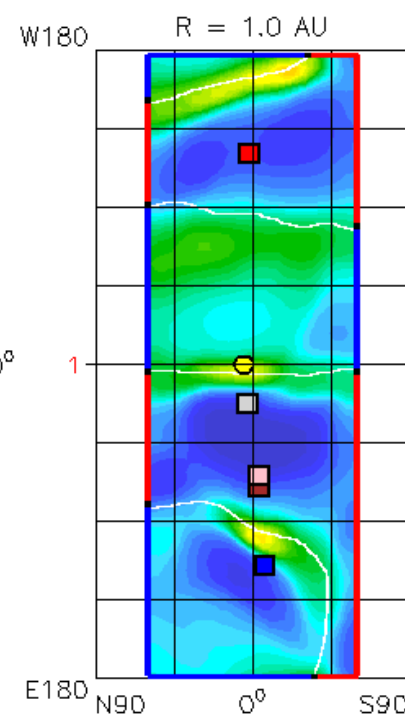
● Earth ● Mars ● Mercury ● Venus Kepler MSL Spitzer ■ Stereo_A
■ Stereo_B



$R^2 N \text{ (cm}^{-3}\text{)}$
 0 10 20 30 40 50 60



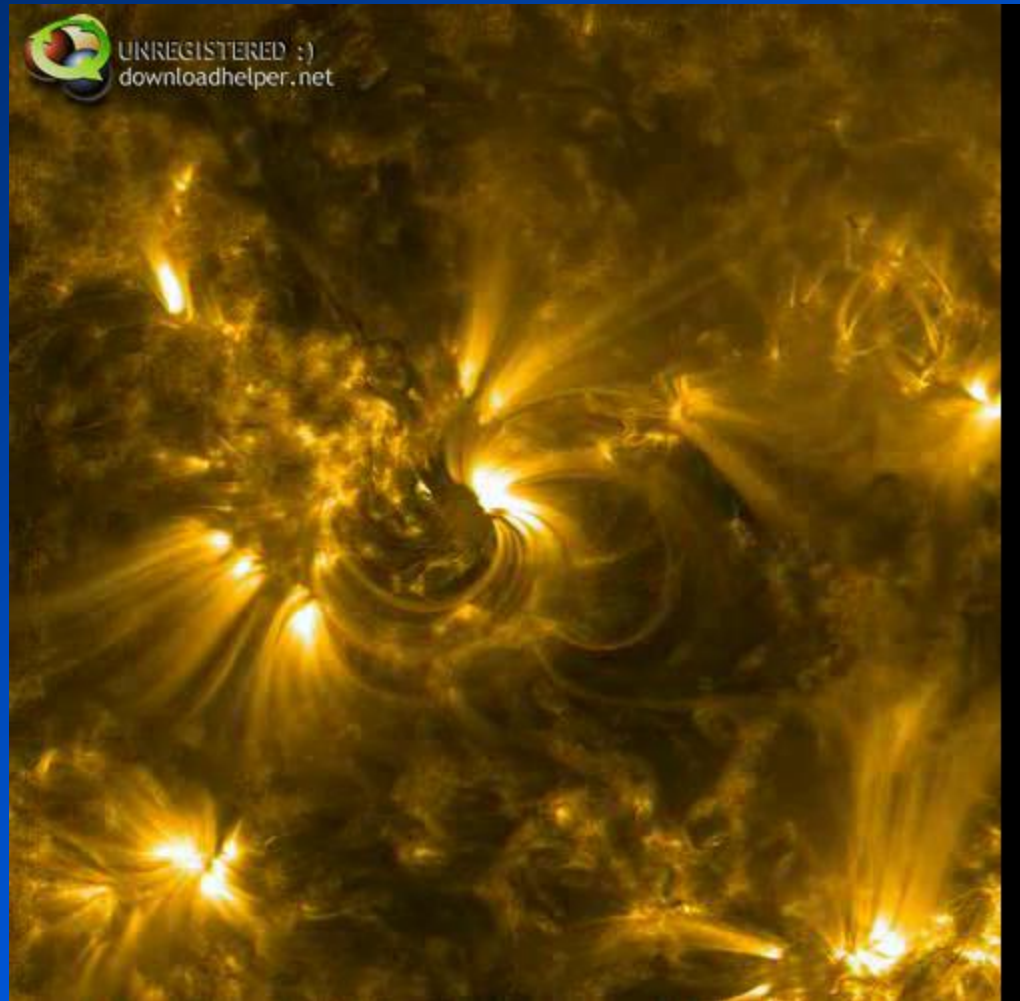
IMF polarity
 - ■ ■ +



Current sheath

3D IMF line

High Resolution Coronal Imaginer (Hi-C) – 0,2 obl. sek.



Koróna – najvyššia vrstva slnečnej atmosféry



Výskum slnečnej koróny po roku 1860

- Prečo po roku 1860? Od tých čias sa začala považovať za súčasť Slnka
- K trom zložkám koróny (K,F,E) pribudli T a S koróna – ich existencia je neistá
- Problémy: mechanizmus ohrevu koróny, mechanizmus doplňovania hmoty do koróny z povrchu Slnka
- Ako sa vytvárajú veľkoškálové štruktúry? Ako dlho žijú?

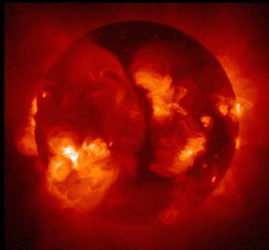


Total Solar Eclipse 2010

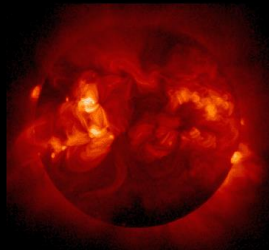
White light / Fe X 637.4 nm red / Fe XIV 530.3 nm green

Biela koróna počas cyklu

28.9.1991



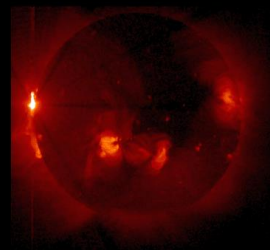
27.3.1992



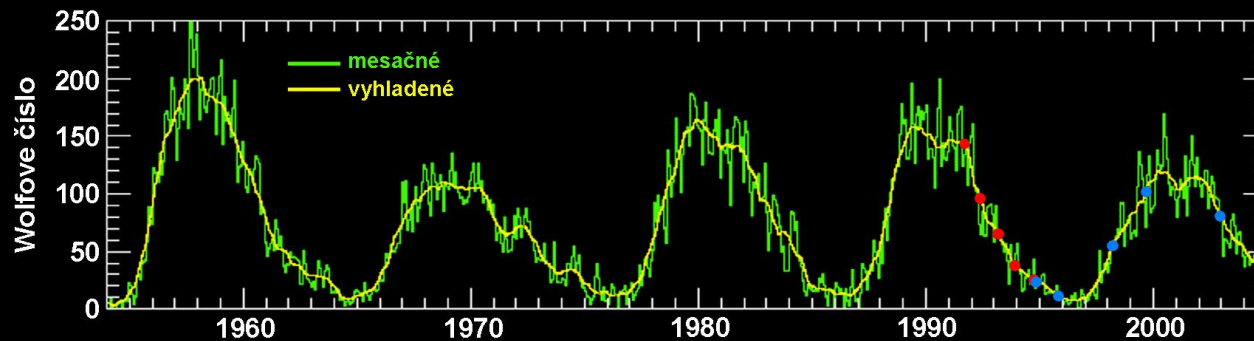
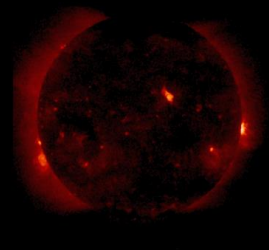
26.1.1993



4.11.1993



20.9.1994



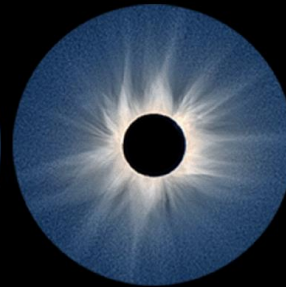
3.11.1994



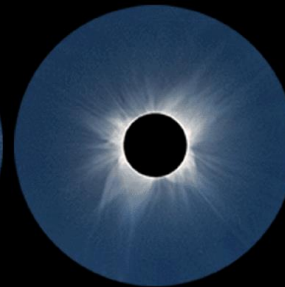
24.10.1995



26.2.1998

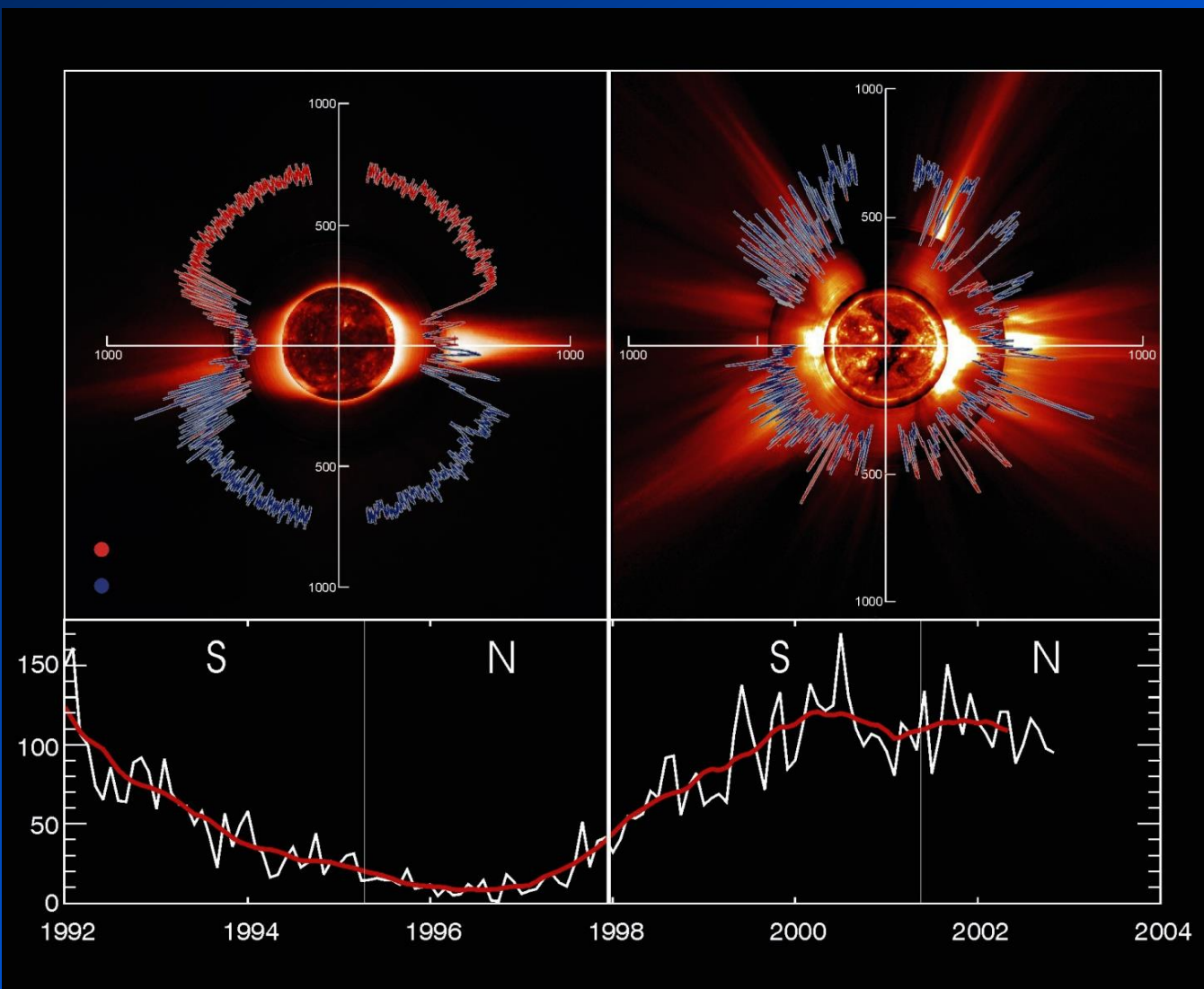


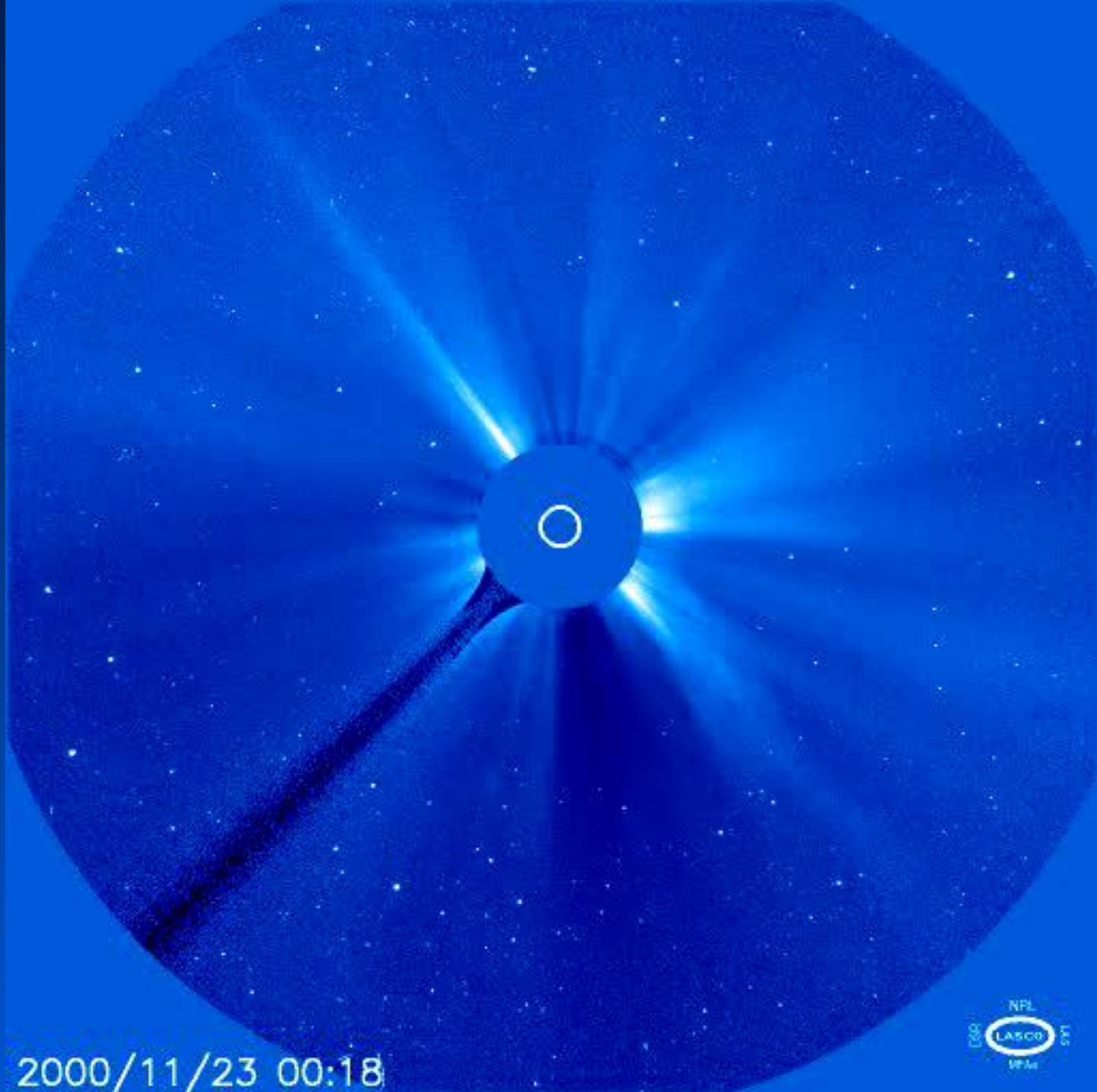
11.8.1999



4.12.2002

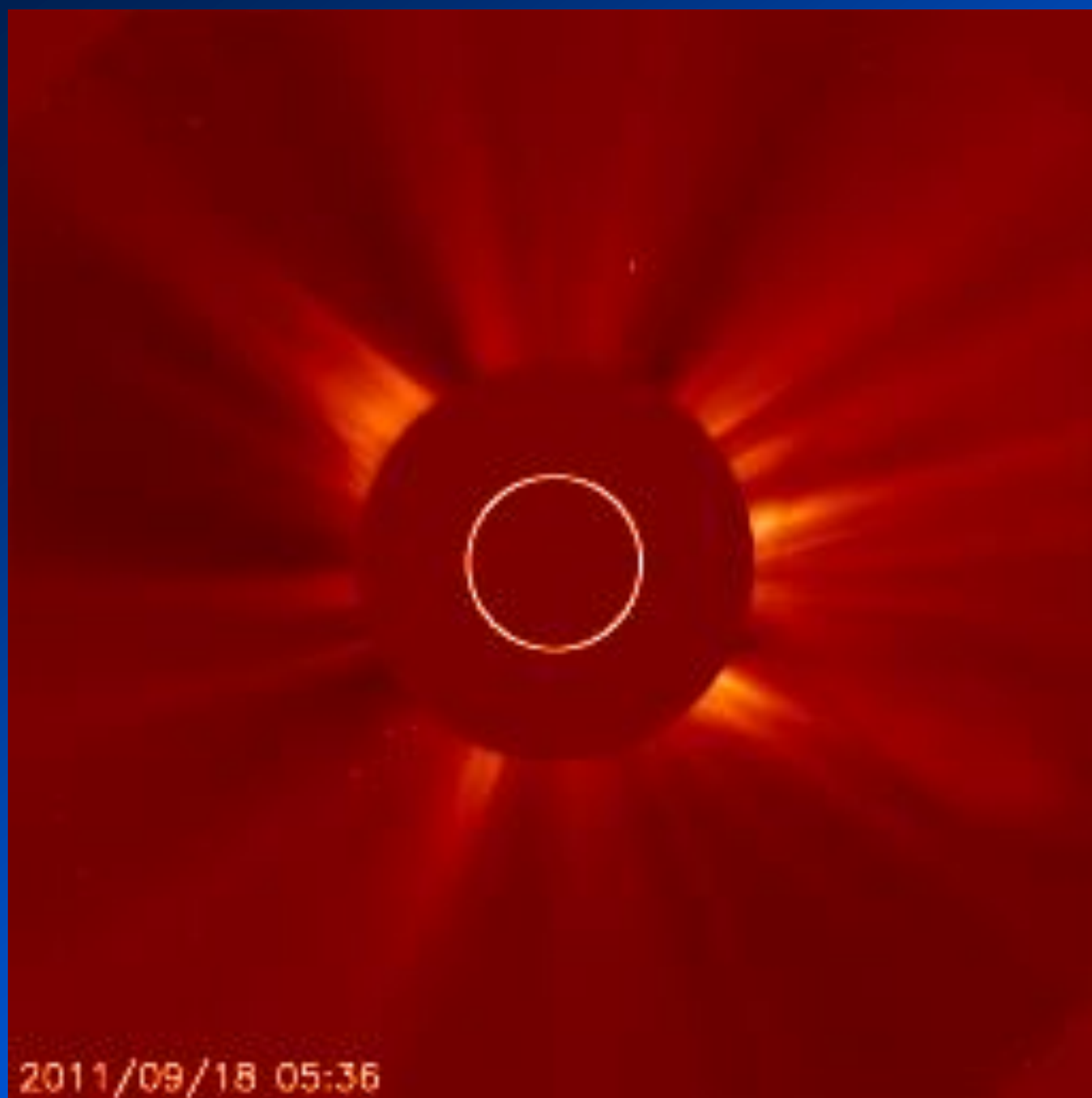
Slnečný vietor

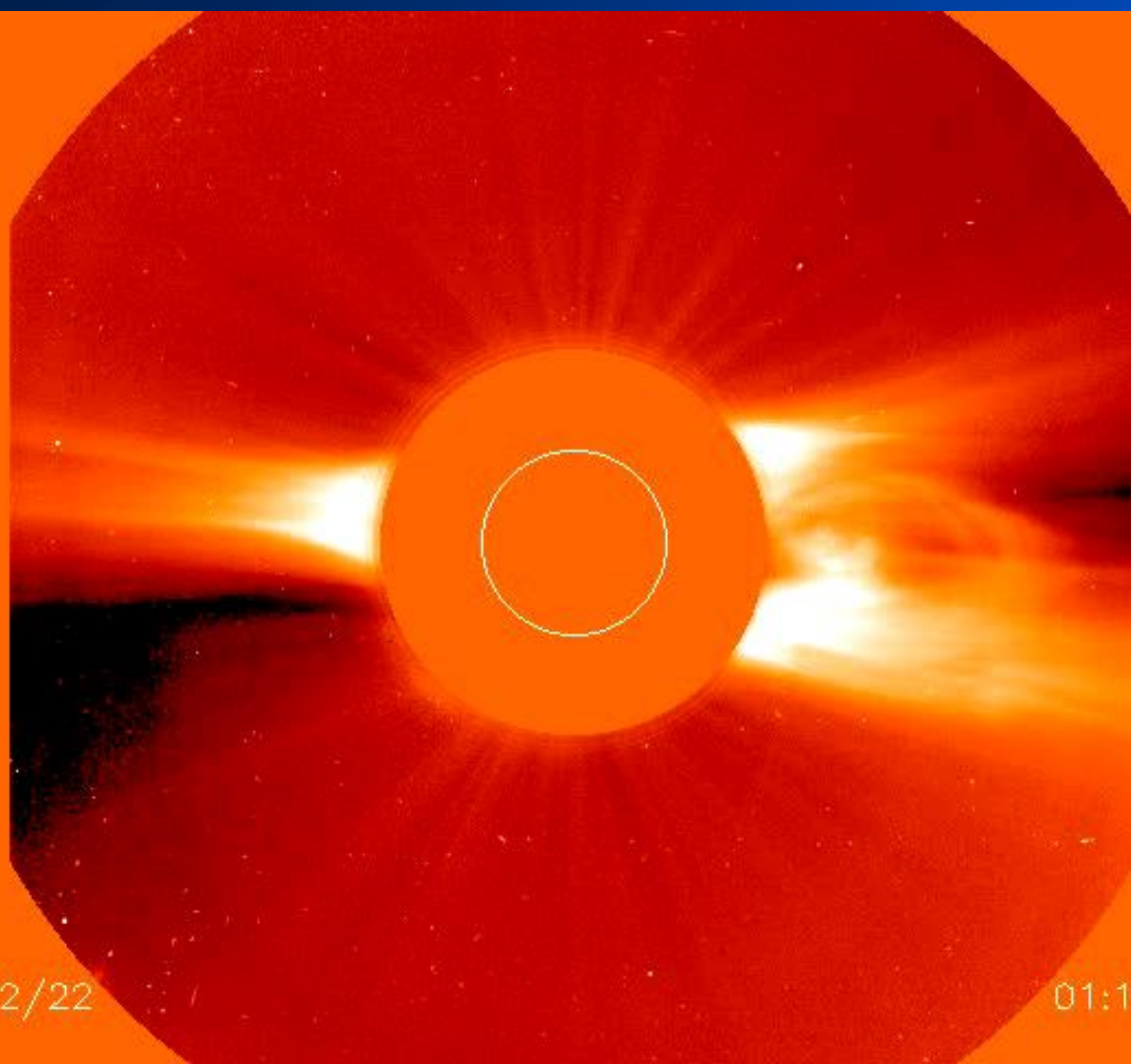




2000/11/23 00:18



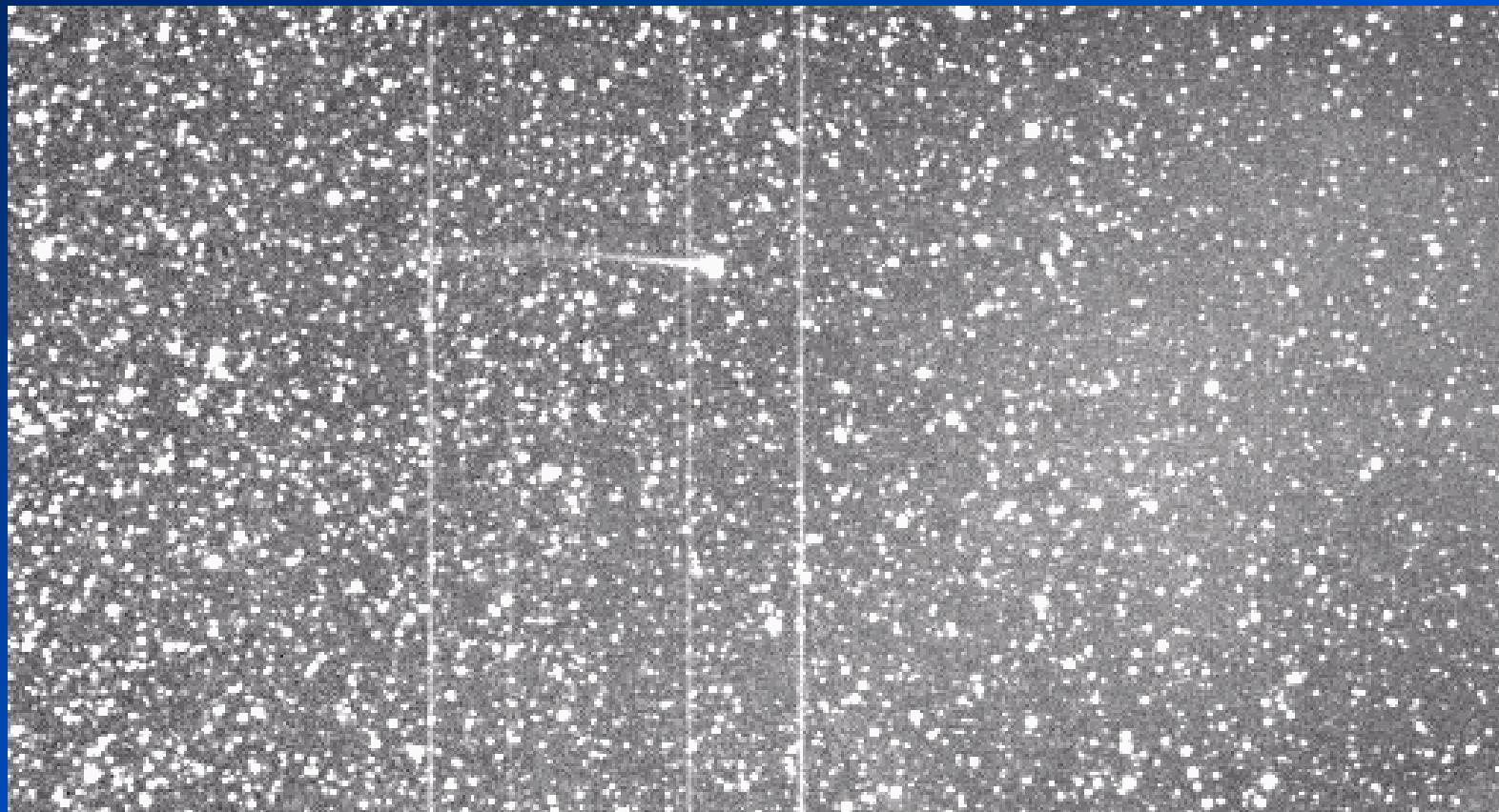




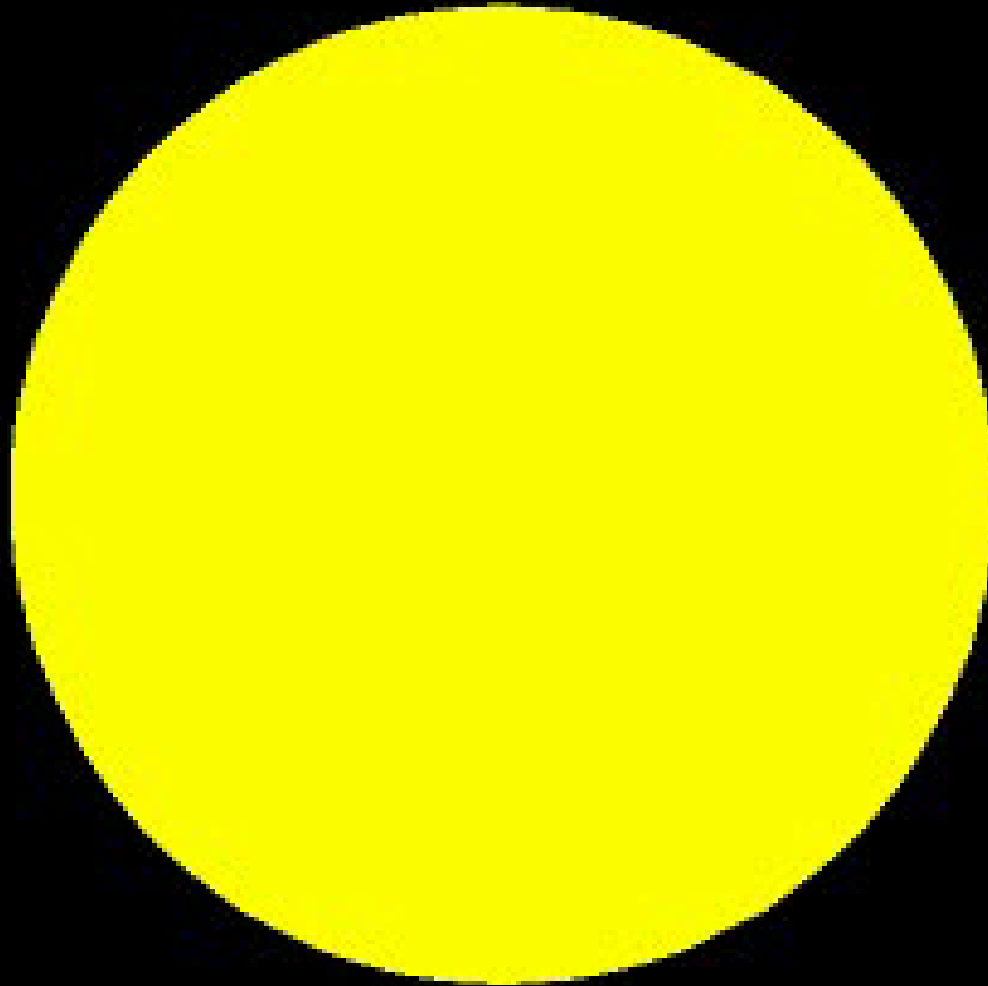
96/12/22

01:10 UT

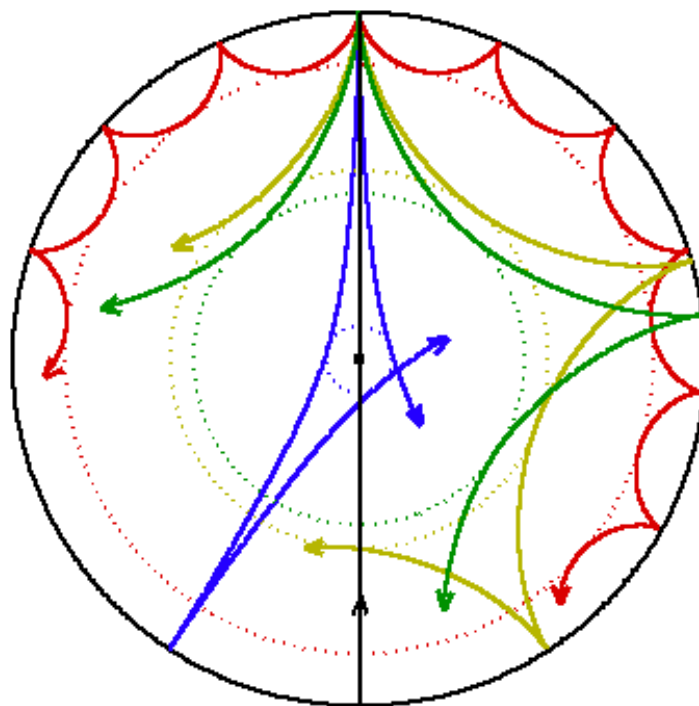
CME a kométa Encke



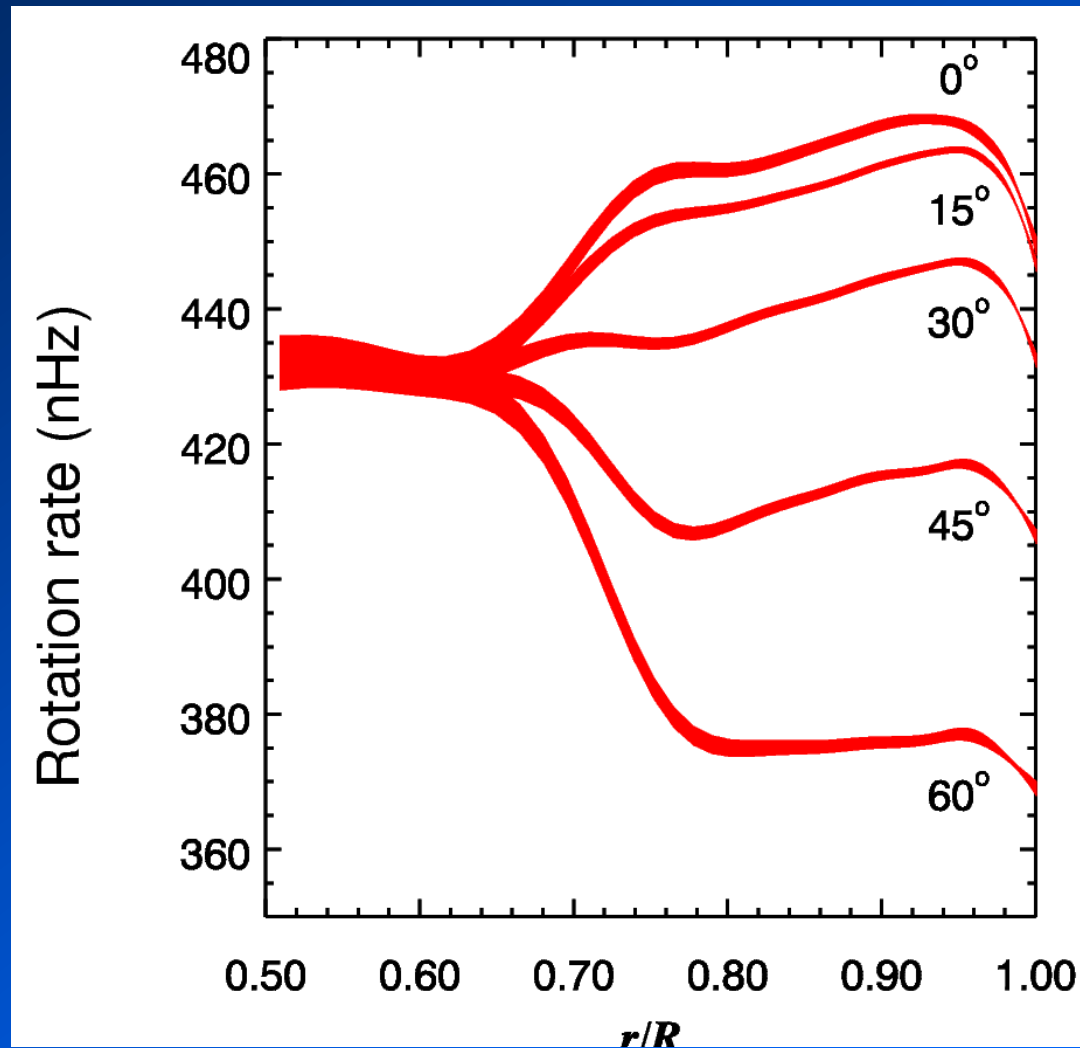
Helioseizmológia

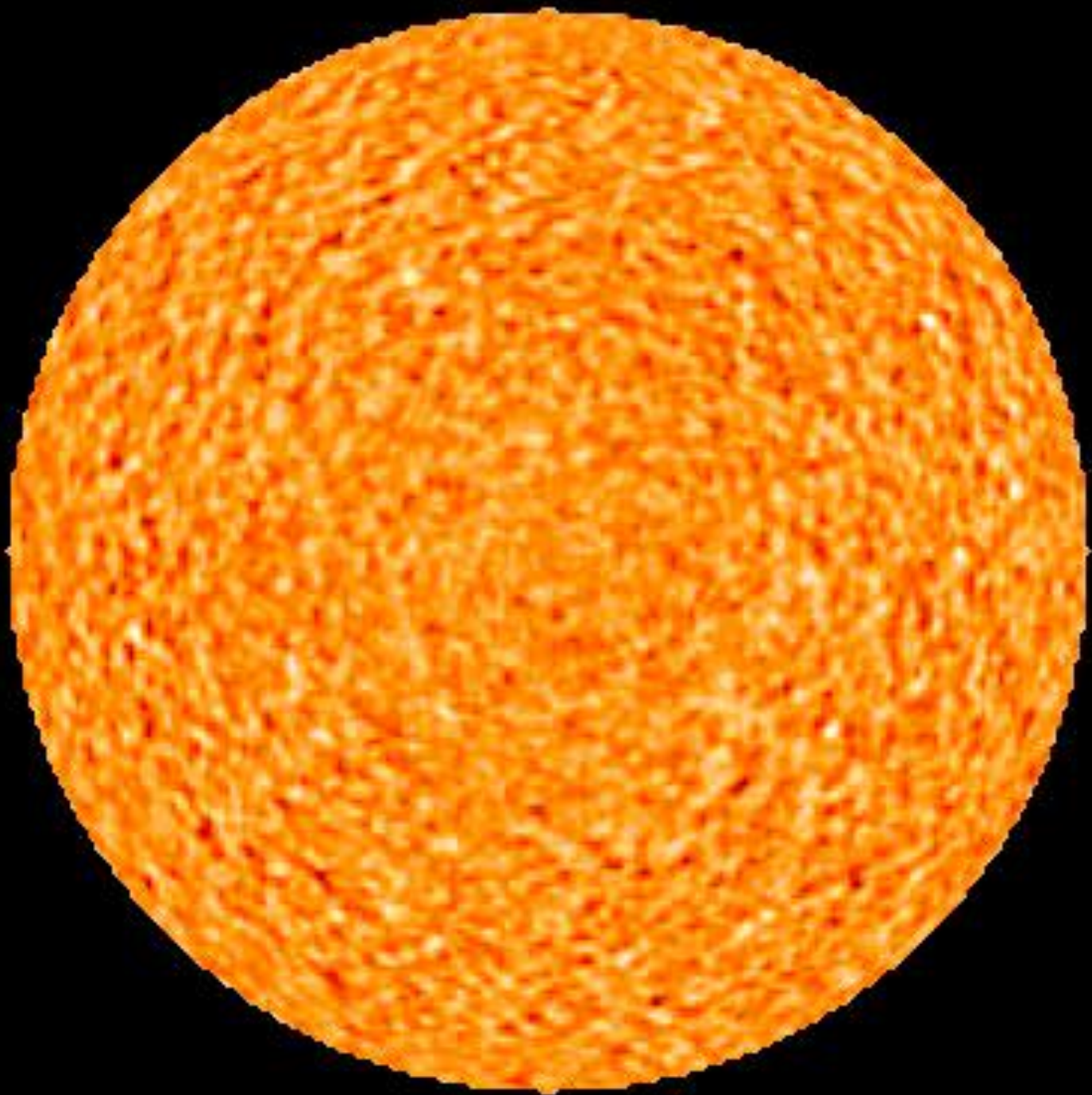


Pohyb zvukových vln v Slnku

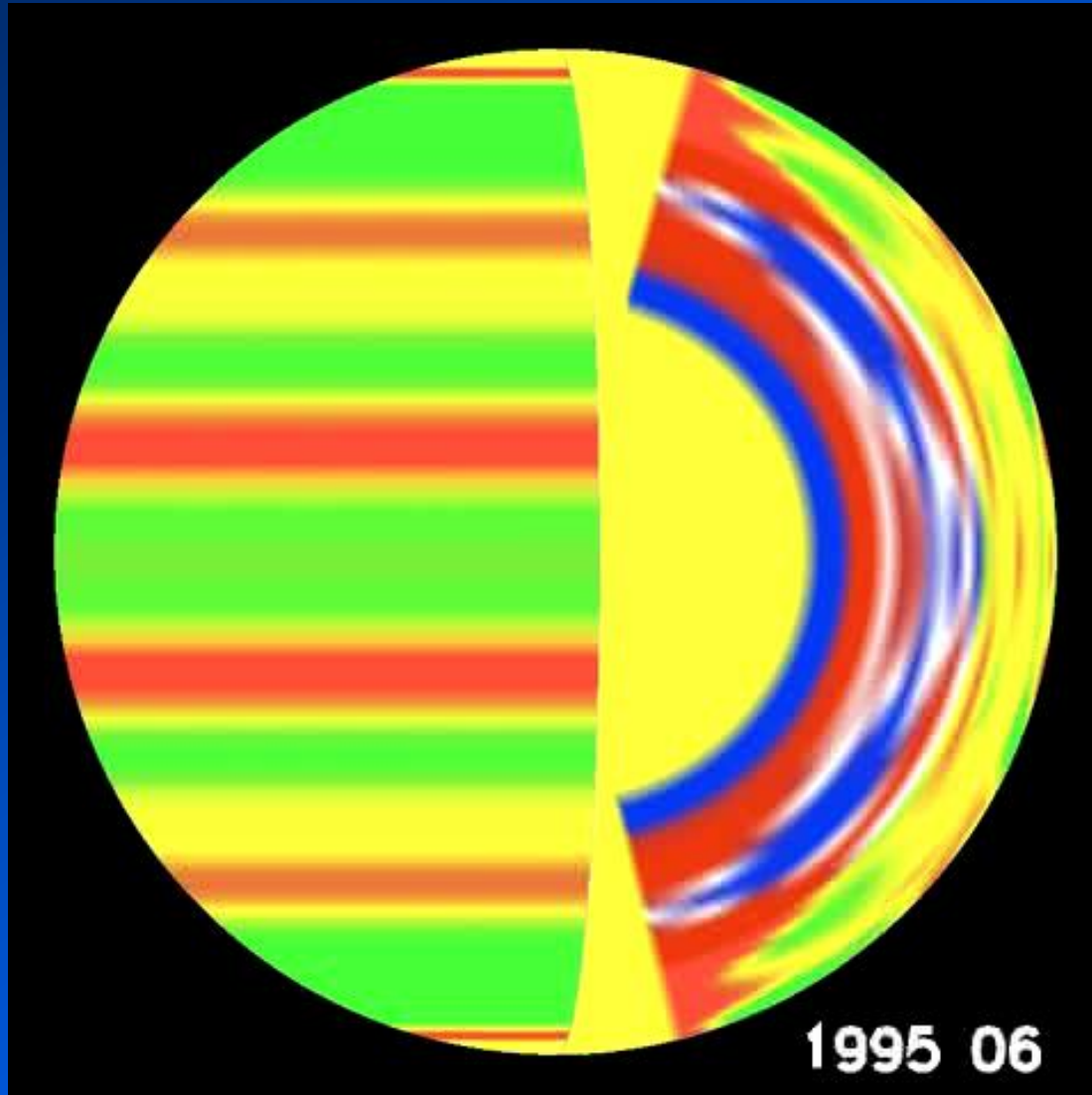


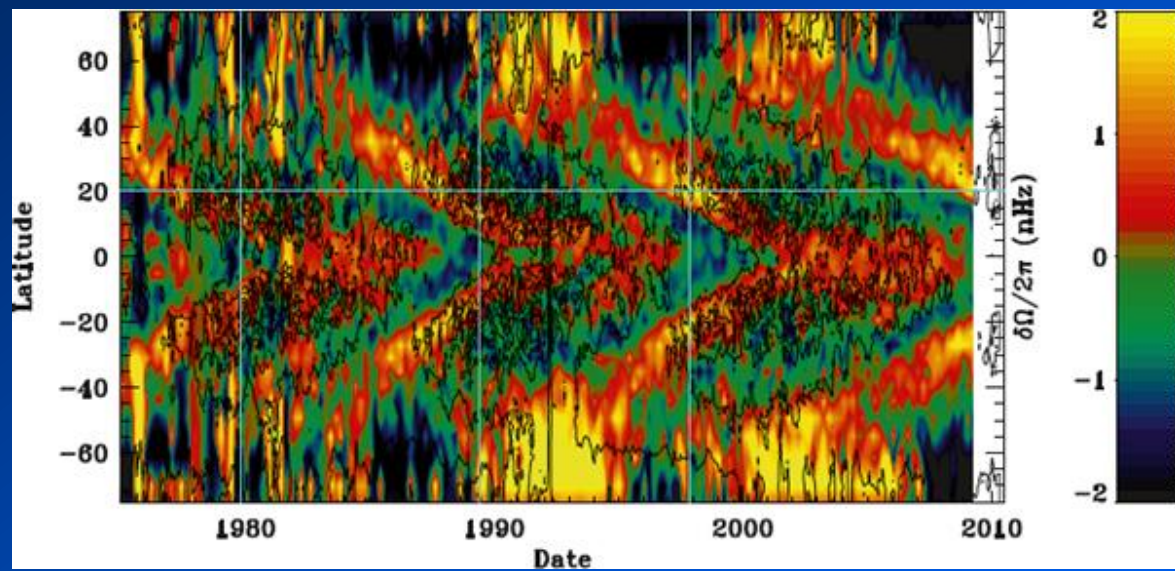
Rotácia pod povrchom





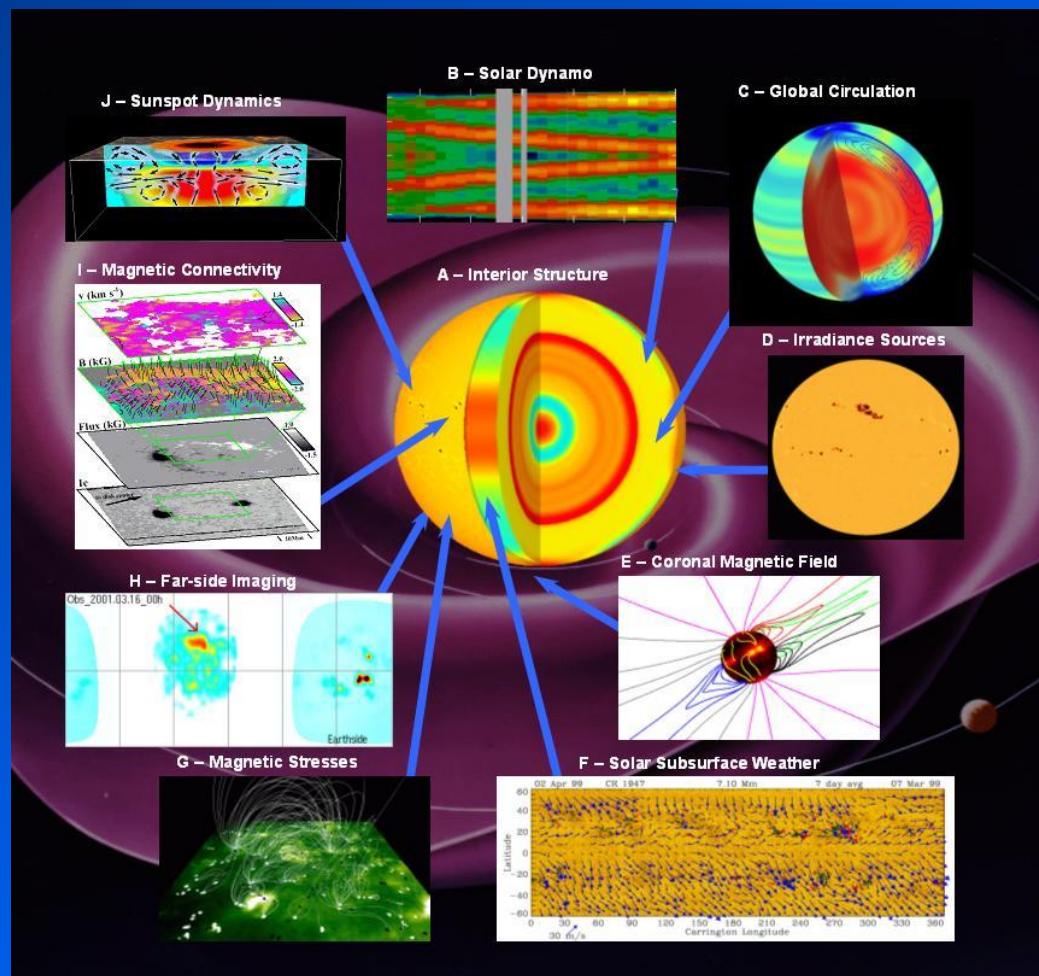
Dynamika pod povrchom



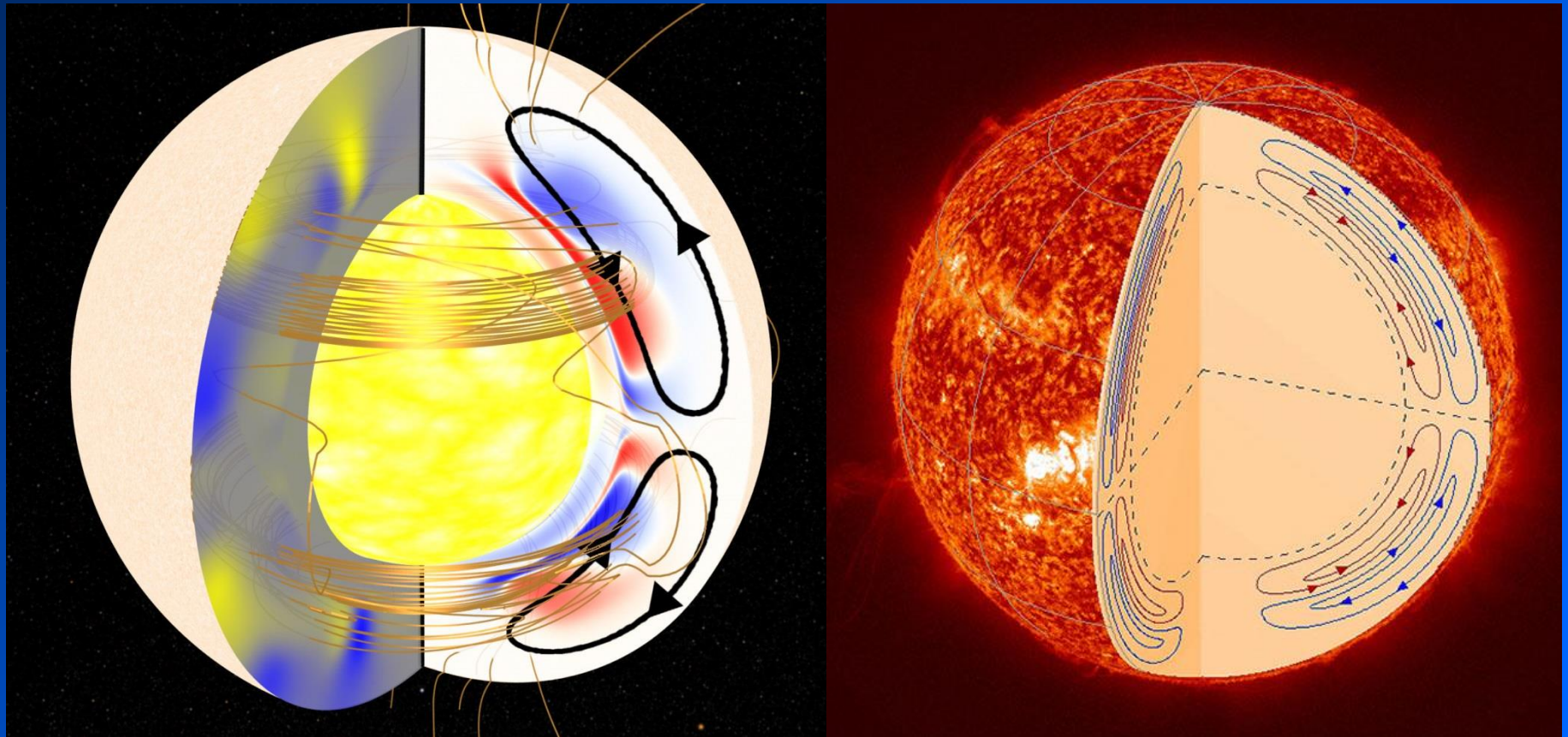


Helioseismic and Magnetic Imager (HMI)

- Dynamika pod povrchom a magnetické vlastností a povrchu

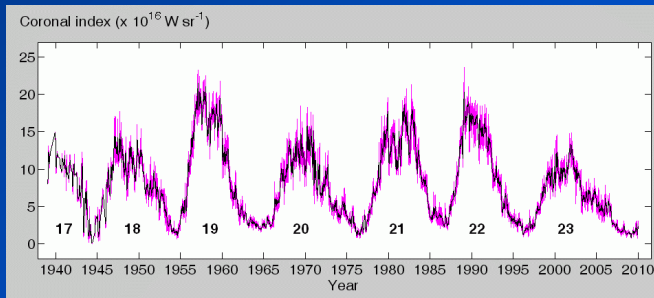
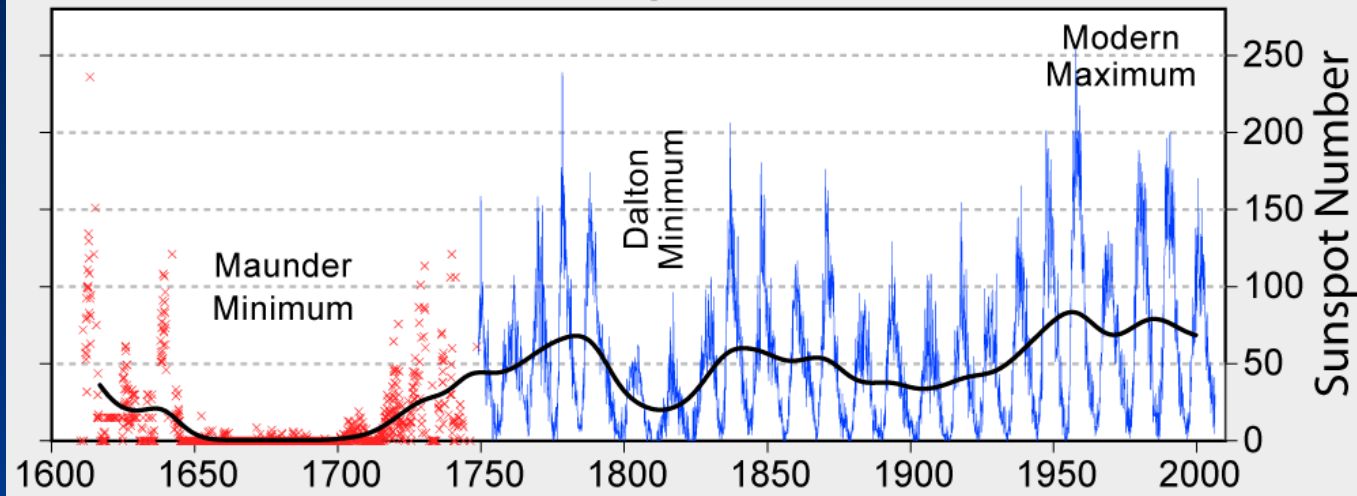


Veľkoškálová meridionálna cirkulácia

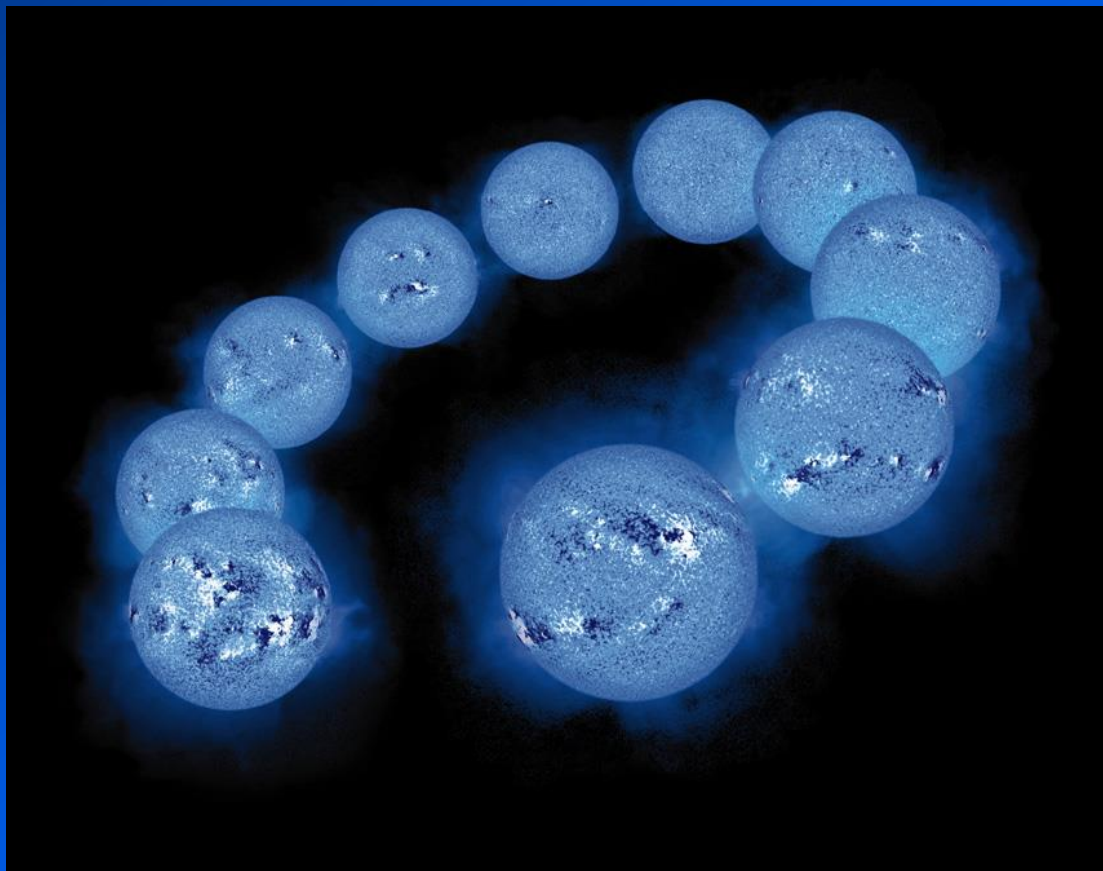
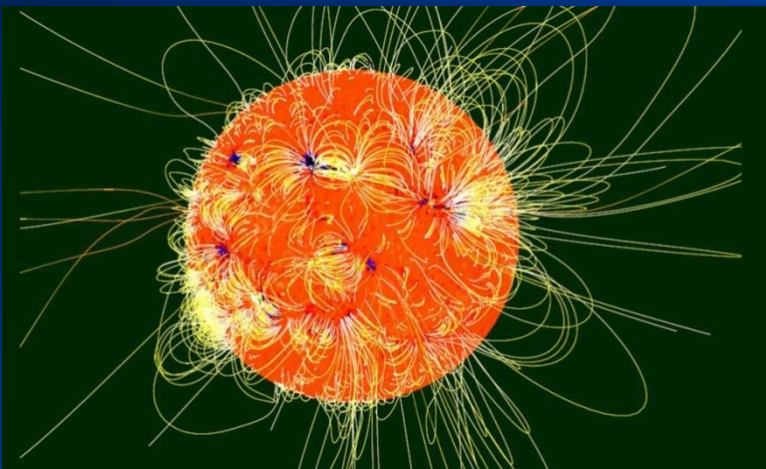


Čo rozumieme pod slnečnou aktivitou ?

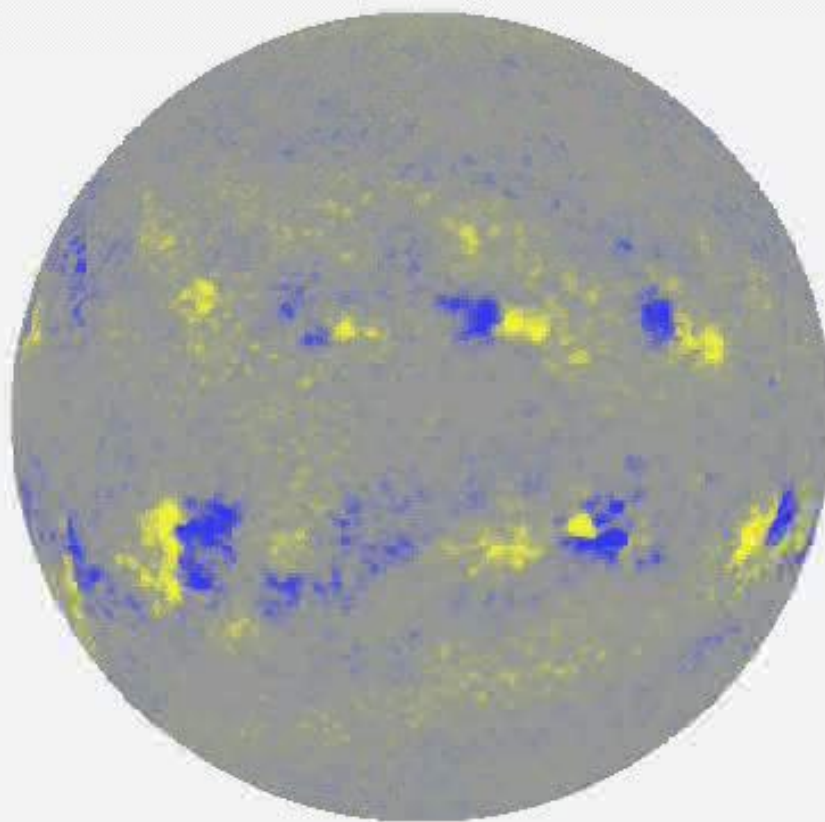
400 Years of Sunspot Observations



Magnetické polia



Dynamika magnetických polí



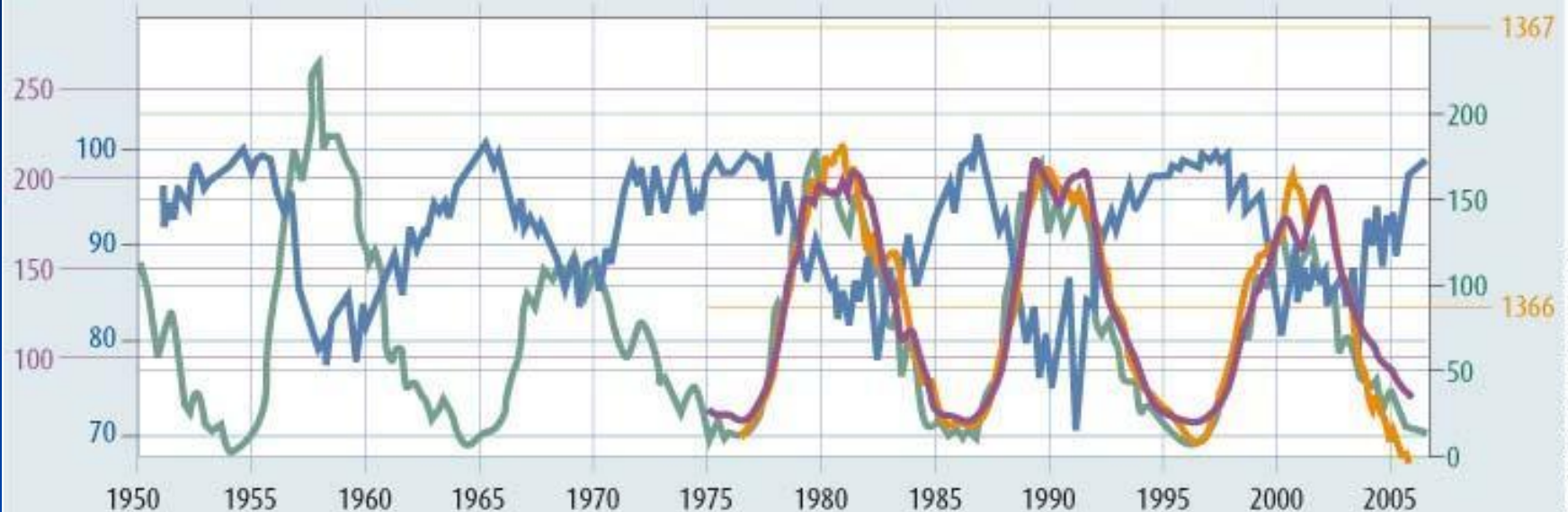


Kozmické žiarenie, W, TSI a 2800 MHz

RECENT CHANGES IN SOLAR ACTIVITY AND COSMIC RAYS

Direct, accurate measurements of cosmic ray intensity and various forms of solar activity began only in the late 20th century. None of these measures shows any long-term trends that can explain the recent warming

- Total solar irradiance as measured by spacecraft (W/m^2)
- 10.7 cm radio waves, an indicator of ultraviolet intensity (solar flux units)
- Smoothed sunspot number
- Cosmic ray intensity as measured by the Climax monitor in Colorado (% relative to 1954)



Note: vertical scales have been adjusted to show the correlations

Záver

- Slnko je mimoriadne zložené a dynamické teleso, od svojho vnútra po slnečný vietor
- Dynamické procesy v Slnku (zmena rotácie v styčnej vrstve/tachoklíne, veľkoškálová meridionálna cirkulácia, diferenciálna rotácia, konvekcia) vytvárajú magnetické polia – globálne aj lokálne
- Magnetické polia sú zodpovedné za slnečnú aktivitu, ktorú pozorujeme predovšetkým vo viditeľných štruktúrach Slnka
- Slnečná aktivita má vplyv v celej heliosfére, vrátane našej Zeme a biosféry
- I napriek tomu, že poznatkov o Slnku máme v súčasnosti veľmi veľa, niektoré procesy poznáme len opisne
- Slnko bude trvalým objektom výskumu
- Na scénu prichádzajú nové prístroje, detekčná a výpočtová technika, koodinovaná spolupráca a pod.

Ďakujem za pozornosť

***Prípravené pre -
Valašské Meziříčí
7. 10. 2015***

התחברות לתרבות





Dnešným oslávencom!